



TUGAS PENGGANTI KERJA PRAKTIK – RC184802

## **PERANCANGAN GEDUNG BERTINGKAT 10 LANTAI DENGAN BETON BERTULANG MUTU TINGGI**

IDA AYU PUTU EKA CHANDRA SARASWATI  
NRP. 03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
NRP. 03111740000060

Dosen Pembimbing  
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”



TUGAS PENGANTI KERJA PRAKTIK – RC184802

## **PERANCANGAN GEDUNG BERTINGKAT 10 LANTAI DENGAN BETON BERTULANG MUTU TINGGI**

IDA AYU PUTU EKA CHANDRA SARASWATI  
NRP. 03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
NRP. 03111740000060

Dosen Pembimbing  
Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

# LEMBAR PENGESAHAN

## LAPORAN TUGAS PENGGANTI KERJA PRAKTIK

### PERANCANGAN GEDUNG BERTINGKAT 10 LANTAI DENGAN BETON BERTULANG MUTU TINGGI

**IDA AYU PUTU EKA CHANDRA SARASWATI**      NRP. 03111740000023  
**HILDA IMAMA ROFIQ**      NRP. 03111740000060

Surabaya, Desember 2020

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Z230  
Bambang  
Piscesa

Digitally signed by  
Z230\Bambang  
Piscesa  
Date: 2021.01.15  
14:20:39 +07'00'

Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198403182008121002

Mengetahui,

Sekretaris Departemen I

Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Departemen Teknik Sipil FTSPK - ITS

Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198004302005011002

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya, penulis diberikan kesehatan jasmani maupun rohani serta kemampuan berpikir sehingga dapat menyelesaikan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik yang berjudul “Perancangan Gedung Bertingkat 10 Lantai dengan Beton Bertulang Mutu Tinggi” tepat pada waktunya. Penyusunan buku ini tidak dapat diselesaikan tepat waktu tanpa bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah mendorong penulis untuk tetap semangat menyelesaikan buku ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Kuasa-Nya, penulis diberikan kesehatan serta kemudahan dalam menyelesaikan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik ini tepat pada waktunya.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat selama perjalanan hidup penulis.
3. Bapak Bambang Piscea, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing penulis yang sangat sabar membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik ini.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSLK-ITS yang telah memberikan ilmu dasar tentang ketekniksipilan.
5. Teman-teman angkatan S-60 yang selalu memberikan dukungan serta banyak bantuan penulis untuk menyelesaikan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik ini.

Dalam penyusunan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik ini, penulis sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kelengkapan dan perbaikan dalam penyusunan Buku Tugas Pengganti Kerja Praktik ini. Penulis berharap penyusunan buku ini dapat bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya.

Surabaya, 22 Mei 2020

(Tim Penulis)

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	V
KATA PENGANTAR.....	VI
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR .....	X
DAFTAR TABEL .....	XII
BAB I .....	1
STRUKTUR BETON BERTULANG .....	1
1.1    Beton Bertulang.....	1
1.2    Sistem Struktur Gedung.....	2
1.2.1    Sistem Rangka Pemikul Momen .....	2
1.3    Desain Kekuatan Struktur.....	2
1.3.1    Desain Kekuatan Struktur terhadap Lentur .....	2
1.3.2    Desain Kekuatan Struktur terhadap Geser .....	3
1.4    Elemen Struktur Beton Bertulang.....	4
1.4.1    Pelat.....	4
1.4.2    Balok .....	5
1.4.3    Kolom.....	5
1.5    Pembebanan Struktur.....	6
1.5.1    Beban Gravitasi .....	7
1.5.2    Beban Lateral .....	8
1.5.3    Kombinasi Pembebanan .....	10
BAB II.....	11
PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG .....	11
2.1    Perancangan Struktur Beton Bertulang .....	11
2.2    Studi Literatur .....	11
BAB III.....	12
PRELIMINARY DESIGN .....	12
3.1    Alur Perencanaan <i>Preliminary Design</i> .....	12
3.2    Data Umum Perencanaan .....	12
3.3    Pembebanan.....	12
3.4    Perencanaan Balok .....	13
3.4.1    Perencanaan Balok Induk.....	13
3.4.2    Perencanaan Balok Anak .....	14
3.4.3    Perencanaan Balok Luivel.....	15
3.5    Perencanaan Pelat.....	16

3.5.1	Pelat Satu Arah .....	16
3.5.2	Pelat Dua Arah .....	17
3.6	Perencanaan Kolom .....	21
3.6.1	Data Perencanaan .....	21
3.6.2	Pembebanan Kolom .....	22
3.6.3	Perhitungan Dimensi Kolom .....	23
3.7	Perencanaan Tangga .....	25
3.8	Perencanaan <i>Lift</i> .....	26
BAB IV	.....	28
PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER	.....	28
4.1	Alur Perencanaan Struktur Sekunder .....	28
4.2	Perencanaan Tangga .....	28
4.2.1	Data Perencanaan Tangga .....	28
4.2.2	Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes .....	28
4.2.3	Perhitungan Gaya Tangga .....	29
4.2.4	Perhitungan Penulangan Tangga .....	32
4.2.5	Perencanaan Balok Bordes .....	34
4.3	Perencanaan Balok Anak .....	38
4.4	Perhitungan Pembebanan .....	38
4.4.1	Perhitungan Tulangan Balok Anak .....	39
4.5	Perencanaan Pelat .....	45
4.5.1	Perencanaan Pelat Lantai .....	45
4.5.2	Perencanaan Pelat Atap .....	50
BAB V	.....	55
PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR	.....	55
5.1	Alur Pemodelan Struktur dan Analisis Struktur .....	55
5.2	Pembebanan Struktur .....	55
5.2.1	Pembebanan Gravitasi .....	55
5.2.2	Beban Hujan .....	58
5.2.3	Beban Gempa .....	58
5.3	Kontrol Desain .....	62
5.3.1	Kontrol Partisipasi Massa .....	63
5.3.2	Kontrol Waktu Getar Alami .....	63
5.3.3	Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum .....	64
5.3.4	Kontrol Akhir <i>Base Reaction</i> .....	64
5.3.5	Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai ( <i>Drift</i> ) .....	66
BAB VI	.....	70



PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER .....	70
6.1    Balok.....	70
6.1.1    Balok BI 1 .....	70
6.1.2    Pendetailan Tulangan .....	77
6.1.3    Balok BI 2 .....	80
6.1.4    Pendetailan Tulangan .....	87
6.2    Kolom .....	90
6.2.1    Kolom K1 .....	90
6.2.2    Pendetailan Tulangan .....	95
6.2.3    Kolom K2 .....	98
6.2.4    Pendetailan Tulangan .....	103
6.3    Hubungan Balok Kolom .....	106
6.3.1    Hubungan Balok Kolom Interior.....	106
6.3.2    Kolom K1 Mutu Normal .....	112
6.3.3    Pendetailan Tulangan .....	116
6.3.4    Kolom Lantai 2.....	118
6.3.5    Pendetailan Tulangan .....	123
KESIMPULAN .....	126
LAMPIRAN GAMBAR .....	127

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur Beton Bertulang.....	1
Gambar 1.2 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai .....	4
Gambar 1.3 Jenis- Jenis Balok Beton Bertulang.....	5
Gambar 1.4 Jenis- Jenis Kolom Beton Bertulang .....	6
Gambar 1.5 Parameter Gerak Tanah Ss .....	9
Gambar 1.6 Parameter Gerak Tanah S1 .....	9
Gambar 3.1 Denah Pelat S6 2 m x 4 m .....	16
Gambar 3.2 Denah Pelat S1 6 m x 4 m .....	17
Gambar 3.3 Luas Pembebanan Kolom.....	22
Gambar 3.4 Denah Perencanaan Tangga .....	25
Gambar 3.5 Dimensi Pelat Anak Tangga.....	25
Gambar 3.6 Dimensi <i>Lift</i> 1 Pintu dengan <i>Rucksack System</i> .....	27
Gambar 3.7 Dimensi <i>Lift</i> 1 Pintu dengan <i>Telescopic Door</i> .....	27
Gambar 4.1 Permodelan Tangga.....	29
Gambar 4.2 Diagram Gaya Normal Tangga .....	30
Gambar 4.3 Diagram Gaya Lintang Tangga .....	31
Gambar 4.4 Diagram Momen Lintang Tangga .....	31
Gambar 4.5 Distribusi Beban Pelat 2 Arah terhadap Balok Anak.....	38
Gambar 4.6 Beban Ekuivalen Trapesium. ....	39
Gambar 5.1 Tampak 3D Pemodelan Gedung pada Program ETABS.....	55
Gambar 5.2 Pemodelan Denah Gedung pada Program ETABS .....	56
Gambar 5.3 Tabel Koefisien $F_a$ dan $F_v$ .....	59
Gambar 5.4 Tabel Koefisien dan Faktor Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	60
Gambar 5.5 Tabel Kategori Desain Seismik berdasarkan $SDS$ dan $SD1$ .....	60
Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum Desain .....	61
Gambar 5.7 Tabel Output ETABS Rasio Partisipasi Massa .....	63
Gambar 5.8 Tabel Output ETABS Prosentase Partisipasi Beban Gempa Statik dan Dinamik ...	63
Gambar 5.9 Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	64
Gambar 5.10 Output ETABS Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Sebelum Dikali Faktor .	65
Gambar 5.11 Output ETABS Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikali Faktor ...	66
Gambar 5.12 Tabel Simpangan Antar Tingkat Ijin.....	66
Gambar 5.13 Hasil <i>Output</i> ETABS Kurva Simpangan Akibat Beban Gempa Arah X .....	68
Gambar 5.14 Hasil <i>Output</i> ETABS Kurva Simpangan Akibat Beban Gempa Arah X .....	69
Gambar 6.1 Diagram Momen, Geser dan Torsi Balok Induk Tipe BI 1 .....	70
Gambar 6.2 Diagram Momen, Geser dan Torsi Balok Induk Tipe BI 2 .....	80
Gambar 6.3 Diagram Momen, Geser dan Torsi Kolom Tipe K1 .....	90
Gambar 6.4 Hasil SPColumn kurva interaksi kolom tipe K1 .....	91
Gambar 6.5 Hasil ETABS kurva interaksi kolom tipe K1 .....	92
Gambar 6.6 Hasil input beban untuk arah biaxial pada SPColumn .....	92
Gambar 6.7 Diagram Momen, Geser dan Torsi Kolom Tipe K2.....	98
Gambar 6.8 Hasil SPColumn kurva interaksi kolom tipe K2 .....	99
Gambar 6.9 Hasil ETABS kurva interaksi kolom tipe K2 .....	99
Gambar 6.10 Hasil input beban untuk arah biaxial pada SPColumn .....	100
Gambar 6.11 Ilustrasi momen pada <i>joint</i> balok-kolom.....	107
Gambar 6.12 Ilustrasi gaya geser pada <i>joint</i> balok-kolom.....	108
Gambar 6.13 Ilustrasi momen pada <i>joint</i> balok-kolom.....	110
Gambar 6.14 Ilustrasi gaya geser pada <i>joint</i> balok-kolom.....	111
Gambar 6.15 Penampang Kolom Lantai 1 .....	112

Gambar 6.16 Hasil SPColumn Arah X Kolom Lantai 1 .....	113
Gambar 5.3 Hasil SPColumn Arah Y Kolom Lantai 1 .....	113
Gambar 6.18 Hasil SPColumn Arah X Kolom Lantai 2 .....	119
Gambar 5.8 Hasil SPColumn Arah Y Kolom Lantai 2 .....	120

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jenis dan Besar Beban Mati .....	7
Tabel 1.2 Jenis dan Besar Beban Hidup .....	7
Tabel 3.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk .....	14
Tabel 3.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak .....	15
Tabel 3.3 Rekapitulasi Dimensi Balok Luivel .....	16
Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan Ketebalan Pelat .....	21
Tabel 3.5 Rekapitulasi Beban Mati Struktur .....	22
Tabel 3.6 Rekapitulasi Beban Mati Struktur .....	23
Tabel 3.7 Rekapitulasi Dimensi Kolom .....	24
Tabel 4.1 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Balok .....	45
Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Pelat Lantai.....	49
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Pelat Atap .....	54
Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 1 .....	56
Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 2—5 .....	57
Tabel 5.3 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 6—9 .....	57
Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Mati Lantai Atap .....	58
Tabel 5.5 Rekapitulasi Beban Hidup Bangunan .....	58
Tabel 5.6 Data Respons Spektral .....	59
Tabel 5.7 Respon Spektrum Desain .....	60
Tabel 5.8 Berat Bangunan Hasil Program ETABS .....	61
Tabel 5.9 Berat Bangunan Perhitungan Manual .....	61
Tabel 5.10 Defleksi Tiap Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah X.....	67
Tabel 5.11 Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah X .....	67
Tabel 5.12 Defleksi Tiap Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah Y.....	68
Tabel 5.13 Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah –Y .....	69
Tabel 6.1 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk .....	90
Tabel 6.2 Rekapitulasi Penulangan Kolom .....	105

# BAB I

## STRUKTUR BETON BERTULANG

### 1.1 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/ material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang besar sehingga tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerjasama dalam menahan gaya-gaya yang berkerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja.



Gambar 1.1 Struktur Beton Bertulang

#### 1 . Kelebihan Beton Bertulang

- Beton termasuk tahan aus dan tahan terhadap kebakaran.
- Beton sangat kokoh dan kuat terhadap beban gempa bumi, getaran, ataupun angin.
- Berbagai bentuk konstruksi dapat dibuat dari bahan beton menurut selera perancang atau pemakai.
- Biaya pemeliharaan atau perawatan sangat sedikit (tidak ada).

#### 2 . Kelemahan Beton Bertulang

- Beton mempunyai kuat tarik yang rendah sehingga mudah retak. Oleh karena itu, perencanaannya perlu diberikan baja tulangan, atau tulangan kasa (meshes).
- Konstruksi beton itu berat sehingga perencanaan bangunan harus menyediakan pondasi yang cukup besar/kuat.
- Hasil beton dengan mutu yang baik diperlukan biaya pengawasan tersendiri.
- Konstruksi beton tak dapat dipindah dan sisa beton tidak ada harganya.

## 1.2 Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur gedung adalah susunan tata letak struktur agar gedung dapat memikul beban bangunan, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban lainnya. Kerusakan dan kegagalan struktur sering terjadi salah satunya akibat dari kesalahan dalam memilih sistem struktur yang tidak dapat memberikan kinerja yang baik ketika terjadi pembebanan berulang, seperti beban gempa. Agar terhindar dari kegagalan dan kerusakan pada struktur, pemilihan sistem struktur yang tepat adalah hal yang sangat penting dalam merencanakan suatu konstruksi.

### 1.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem rangka pemikul momen terdapat tiga jenis salah satunya, yaitu sistem rangka pemikul momen khusus.

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) merupakan sistem rangka yang dapat digunakan untuk bangunan daerah zona gempa yang tinggi yaitu zona 5 hingga zona 6. Sistem ini menggunakan komponen struktur dengan *joint*-nya untuk menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Angka faktor modifikasi sistem rangka pemikul momen khusus bernilai sebesar  $R = 8$ .

Sistem ini merupakan jenis sistem rangka yang memiliki daktilitas penuh sehingga dalam perencanaannya menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi peraturan *detailing* khusus serta daktilitas penuh.

Persyaratan-persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktil, yaitu :

- Sedapatnya menjaga keteraturan struktur.
- Cukup kuat menahan gempa normative yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
- Cukup kaku untuk membatasi penyimpangan.
- Hubungan balok kolom cukup kuat menahan rotasi yang terjadi.
- Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti balok-balok mendahului terbentuknya sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi pada kolom-kolom.
- Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain ditingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.
- Konsep "*strong column weak beam*" dalam sistem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku dari pada balok sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom. Dengan kata lain, balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar di seluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom.

## 1.3 Desain Kekuatan Struktur

### 1.3.1 Desain Kekuatan Struktur terhadap Lentur

Perencanaan kekuatan struktur terhadap lentur diwujudkan dalam perhitungan perencanaan pembesian lentur. Perencanaan pembesian (penulangan) yang dilakukan dalam perencanaan kekuatan penampang terhadap lentur dimaksudkan terutama untuk menghitung seberapa besar pembesian yang harus dipasang pada struktur balok agar diperoleh suatu struktur balok beton dengan pembesian yang berperilaku komposit dalam menahan beban rencana yang bekerja.

Perilaku struktur komposit sangat diharapkan untuk dapat bekerja dengan baik sebab momen lentur (*bending moment*) yang bekerja menyebabkan timbulnya tegangan tekan dan tegangan tarik pada serat yang berlawanan (tegangan tekan pada serat atas sedangkan tegangan tarik pada serat bawah atau sebaliknya) dalam suatu penampang struktur yang dibebani lentur. Sifat material beton yang sangat baik dalam menahan tegangan tekan namun buruk dalam menahan tegangan tarik dibantu dengan pembedaan yang menunjukkan *performance* yang sangat baik dalam menahan tegangan tarik. Perilaku komposit yang baik yang tercapai dengan perencanaan yang baik akan menjamin kekuatan struktur terhadap lentur. Dari sini dapat terlihat bahwa pembedaan diperlukan pada serta penampang yang mengalami tegangan tarik.

### 1.3.2 Desain Kekuatan Struktur terhadap Geser

Perencanaan struktur beton bertulang terhadap geser sama halnya dengan perencanaan terhadap lentur karena yang menentukan dalam hal ini adalah perilaku struktur terhadap batas keruntuhan. Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan pada keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Jika jarak diagonalnya jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur.

Balok dengan tulangan geser yang umum dikenal adalah sengkang vertikal yang dapat berupa baja tulangan diameter kecil ataupun jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus sumbu utama aksial penampang, dan sengkang miring. Sengkang ini biasanya terbuat dari tulangan berdiameter kecil, seperti diameter 8, 10, atau 12 mm dengan mengikat tulangan longitudinal yang dibengkokkan membentuk sudut  $30^0$  atau lebih terhadap arah tulangan tarik diagonal.

Perilaku geser tidak sama untuk setiap struktur. Dalam usaha untuk mengetahui perilaku geser pada struktur beton bertulang, pemahaman perilaku geser pada struktur yang bermaterial homogen, isotropic, dan elastis linier sangat diperlukan. Dengan sedikit modifikasi, pendekatan berdasarkan asumsi tersebut dapat diterapkan guna memberikan gambaran yang cukup baik terhadap formasi retak dan kekuatan geser beton bertulang.

Tergantung pada lokasi titik yang ditinjau dari balok, terdapat tiga kombinasi tegangan yang mungkin terjadi, yakni :

- Kondisi dengan harga momen lentur besar, sedangkan gaya geser kecil/rendah. Retak terjadi pada bagian tepi yang mengalami tegangan tarik, dan arahnya hampir tegak lurus terhadap sumbu balok, disebut sebagai retak lentur (*flexural cracks*).
- Kondisi dengan harga momen lentur dan gaya geser memiliki besar yang sama. Retak lentur akan terjadi lebih dahulu, dan lebar ataupun panjang retak ini dikendalikan oleh adanya tulangan longitudinal. Bila tegangan tarik diagonal pada daerah di atas retak ini melampaui kekuatan tarik beton, retak tersebut akan menjalar membelok ke arah diagonal. Disebut retak geser lentur (*flexural-shear crack*).
- Kondisi dengan harga momen lentur kecil sedangkan harga gaya geser besar. Kondisi ini terjadi retak diagonal (*diagonal tension crack* atau *web shear crack*). Pada keadaan ini, retak lentur jarang terjadi mendahului retak diagonal. Pada kondisi tegangan lentur sangat kecil, tegangan tarik diagonal membentuk sudut  $45^0$  dan nilainya sama dengan nilai tegangan geser yang maksimum pada garis netral. Oleh karena itu retak diagonal ini hampir selalu terbentuk pada daerah sumbu netral.



#### 1.4 Elemen Struktur Beton Bertulang

Elemen struktur beton bertulang merupakan bagian-bagian penyusun struktur, seperti pelat, balok, serta kolom. Elemen struktur beton ini dibuat dengan cara pengecoran berupa beton segar yang dilakukan langsung di lokasi sesuai dengan jadwal yang direncanakan. Proses pengecoran dilakukan dalam bentuk dan ukuran yang direncanakan dengan bantuan menggunakan bekisting sebagai cetakan serta perancah untuk menyanggah tempat cetakan saat pengecoran berlangsung.

##### 1.4.1 Pelat

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Pembebanan yang akan diperhitungkan pada struktur pelat adalah semua beban, yaitu beban mati atau pun beban hidup yang menumpu di atas pelat itu sendiri.



Gambar 1.2 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Ketebalan bidang pelat ini relatif kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang atau lebarnya. Bidang pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal sehingga pada bangunan gedung pelat berfungsi sebagai diagfragma/unsur pengaku dalam suatu struktur. Pelat lantai beton ini umumnya bertulang dan dicor ditempat, bersama dengan balok penumpu dan kolom pendukungnya. Penulangan pelat lantai ini yaitu direncanakan dengan tulangan baja pada kedua arahnya dan tulangan silang untuk menahan momen tarik dan juga lenturan.

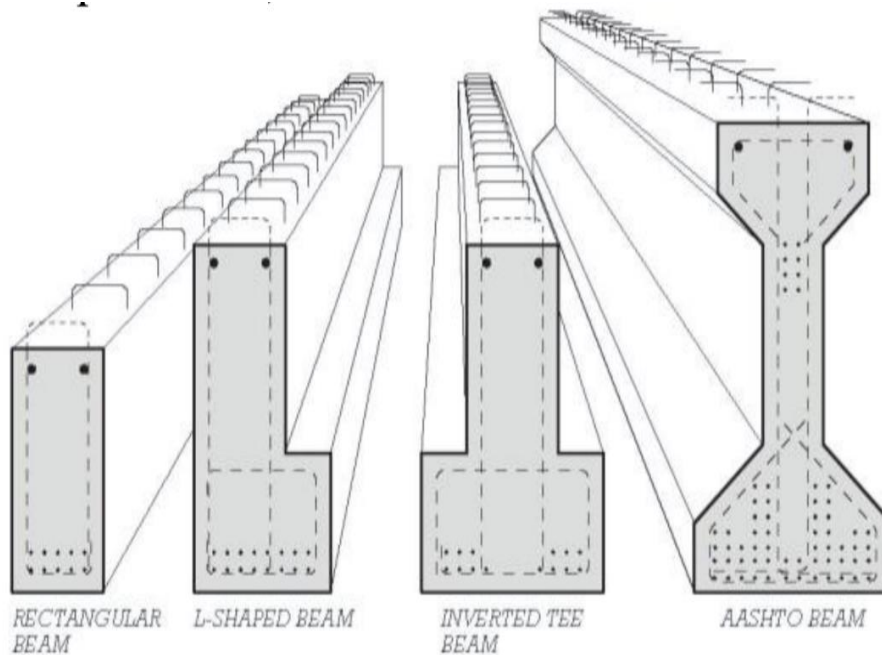
Beberapa jenis konstruksi plat yang paling umum di gunakan diantaranya, yaitu :

- Sistem balok-plat satu arah menerus.
- Konstruksi plat berusuk – satu arah.
- Sistem lantai waffle dua arah.
- Sistem plat datar atau flat plate.
- Sistem lantai datar atau flat slab.
- Sistem Lantai balok-plat dua arah.



### 1.4.2 Balok

Balok beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton Polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah, sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik oleh tulangan baja. Fungsi balok pada struktur itu sendiri yaitu salah satu elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari pelat ke kolom penyangga yang vertikal. Dalam konstruksi gedung, balok dibagi menjadi tiga penampang yaitu balok L, T dan persegi.



Gambar 1.3 Jenis- Jenis Balok Beton Bertulang

### 1.4.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur.

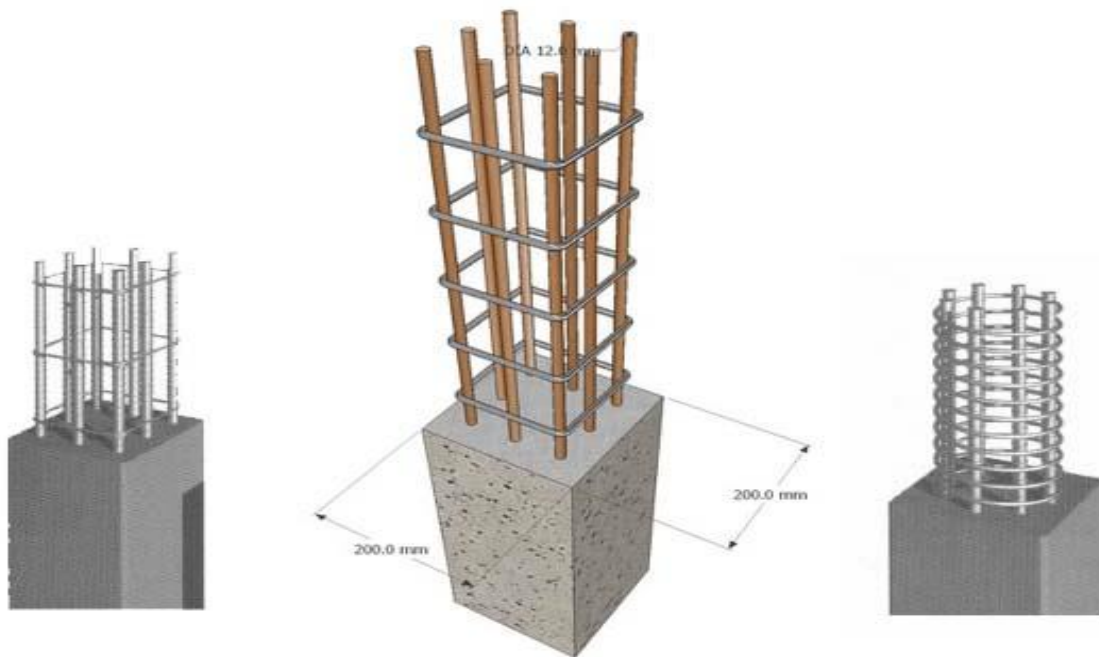
Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang) serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting agar bangunan tidak mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya.

Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi atau tulangan adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan.

Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain, seperti *sloof* dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan.

Jenis-jenis kolom menurut buku struktur beton bertulang (Istimawan Dipohusodo, 1994), kolom beton bertulang terdiri dari tiga jenis, yaitu :

- Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
- Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.
- Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa serta menggunakan atau tidak menggunakan batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 1.4 Jenis- Jenis Kolom Beton Bertulang

### 1.5 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur bangunan tinggi berbeda dengan pembebanan pada bangunan tingkat rendah. Pada perencanaan bangunan tinggi perlu diperhatikan beban lateral yang berpengaruh terhadap kekuatan dan stabilitas struktur selain adanya beban gravitasi. Beban lateral tersebut bekerja pada setiap tingkat dan dianggap sebagai beban statis yang menirukan beban gempa riil akibat gerakan tanah. Untuk beban gravitasi, pembebanan pada struktur bangunan tinggi hampir sama dengan pembebanan bangunan tingkat rendah. Beban gravitasi ini mencakup beban mati dari suatu struktur antara lain pelat dan balok, beban berguna dan beban hidup yang terjadi akibat hunian.

Besar berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung serta beban hidup yang bekerja ditetapkan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983).

### 1.5.1 Beban Gravitasi

#### 1.5.1.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung/bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur – unsur tambahan, finishing, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung/bangunan tersebut. Termasuk dalam beban ini adalah berat struktur, pipa – pipa, saluran listrik, AC, lampu – lampu, penutup lantai, dan plafon. Beban mati yang direncanakan pada modifikasi struktur ini berdasarkan peraturan PPIUG 1983.

Tabel 1.1 Jenis dan Besar Beban Mati

Jenis Beban	Besar Beban
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>
Beton	2200 kg/m <sup>3</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Kayu (Kelas I)	1000 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (Kering Udara)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Aspal	2200 kg/m <sup>3</sup>
Komponen Gedung	
Plafon	7 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung Plafon	11 kg/m <sup>2</sup>
Penutup Atap Genteng	50 kg/m <sup>3</sup>
Lantai Ubin	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (/cm)	21 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Bata ringan	100 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Bata Merah	250 kg/m <sup>3</sup>

#### 1.5.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung. Termasuk beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat dipindah – pindah, kendaraan, dan barang – barang lain. Beban yang direncanakan pada modifikasi struktur ini berdasarkan peraturan PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013 Tabel 4.1.

Tabel 1.2 Jenis dan Besar Beban Hidup

Jenis Beban	Besar Beban
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125 kg/m <sup>2</sup>
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ruang olah raga.	400 kg/m <sup>2</sup>
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang mesin dan lain - lain	400 kg/m <sup>2</sup>
Lantai gedung parkir bertingkat, untuk lantai bawah.	800 kg/m <sup>2</sup>
Lantai gedung parkir.	400 kg/m <sup>2</sup>

## 1.5.2 Beban Lateral

### 1.5.2.1 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur. Besarnya tekanan tiup harus diambil minimum sebesar  $25 \text{ kg/m}^2$  kecuali untuk bangunan-bangunan yang berada di lokasi tepi laut sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum  $40 \text{ kg/m}^2$ . Perencanaan beban angin mengikuti SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

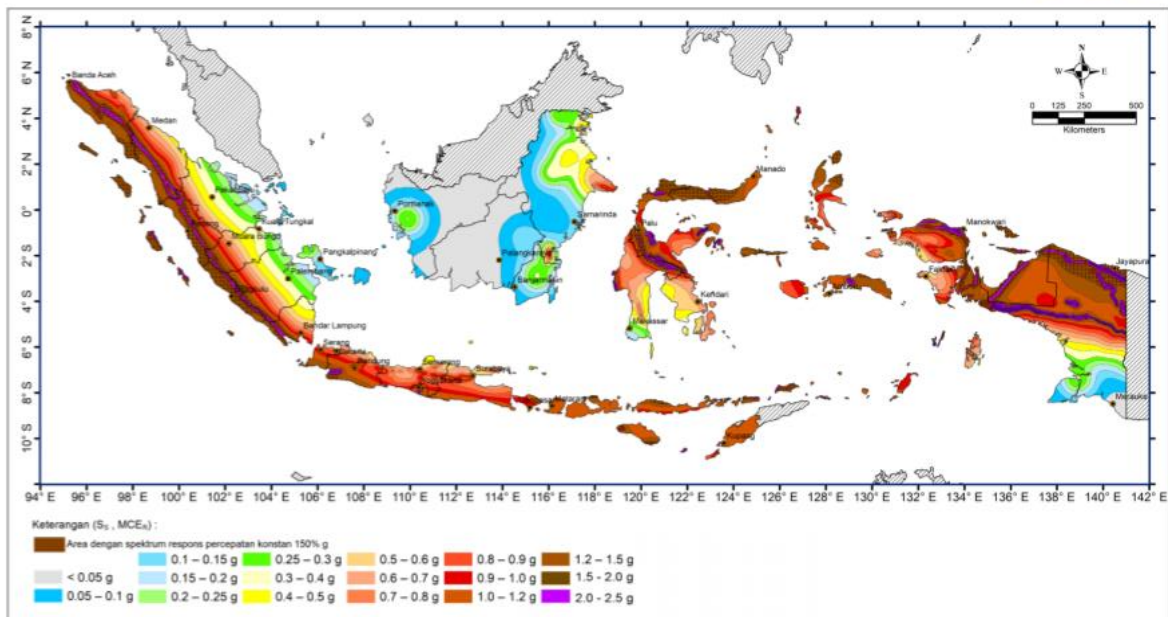
### 1.5.2.2 Beban Gempa

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Kejadian gempa sering melanda Indonesia, baik dalam ukuran yang kecil yang frekuensi kejadiannya sampai ribuan kali pertahun, maupun gempa dengan kekuatan yang cukup besar yang dapat merusakkan bangunan. Hal ini tidak terlepas dari kondisi geografis Indonesia yang terletak di antara empat sistem lempeng tektonik yang aktif, yakni tapal batas lempeng Eurasia, lempeng IndoAustralia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Pada prinsipnya gempa yang umum terjadi adalah suatu peristiwa pelepasan energi pada suatu tempat di perbatasan lempeng-lempeng plat tektonik.

Selama terjadi gempa bumi, bangunan akan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horisontal. Gaya gempa baik dalam arah vertikal maupun arah horisontal, akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya gempa tersebut, gaya gempa dalam arah vertikal seringkali tidak diperhitungkan karena cukup kecil jika dibandingkan dengan besar gaya akibat beban gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup memadai. Oleh karena itu, struktur jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa dalam arah horisontal akan bekerja langsung pada titik lemah struktur yang mempunyai kekuatan tidak memadai, sehingga dapat menyebabkan struktur runtuh, ("failure"). Atas dasar inilah prinsip utama dalam perencanaan tahan gempa adalah meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral (gaya horisontal) yang secara umum tidak memadai.

Beban gempa yang terjadi pada struktur direncanakan dengan mengacu berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung. Tahapan-tahapan untuk menentukan beban gempa yang harus dilakukan, antara lain:

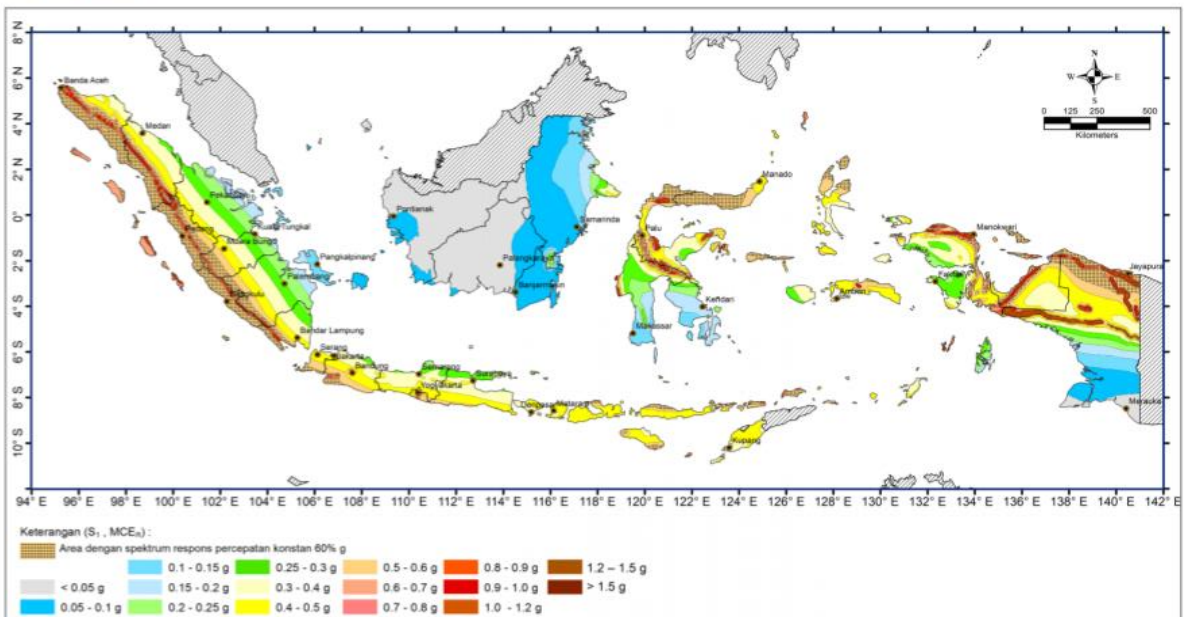
1. Kategori risiko struktur bangunan dan faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 yang tertera pada tabel 3 dan tabel 4.
2. Faktor-faktor penahan gempa direncanakan berdasarkan sistem struktur yang digunakan pada bangunan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.2.2 tentang kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda pada tabel 12.
3. Penentuan parameter percepatan *respons spectrum* direncanakan berdasarkan wilayah gempa untuk mendapatkan nilai periode pendek ( $S_s$ ) dan periode 1 detik ( $S_1$ ) sesuai peta gempa pada gambar 15 dan 16 di dalam SNI 1726:2019 yang tersaji pada gambar 1.5 dan gambar 1.6.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah  $S_s$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5 %)

Gambar 1.5 Parameter Gerak Tanah  $S_s$   
(Sumber: SNI 1726:2019, Gambar 15)

SNI 1726:2019



Gambar 16 – Parameter gerak tanah,  $S_1$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %)

Gambar 1.6 Parameter Gerak Tanah  $S_1$   
(Sumber: SNI 1726:2019, Gambar 16)

4. Setelah mendapatkan nilai percepatan *respons spectrum*, koefisien situs dan parameter respons spektral, parameter percepatan spektral desain, serta spektrum respons desain ditentukan berdasarkan pada SNI 1726:2019 pasal 6.2, 6.3, dan 6.4.

5. Penentuan prosedur gaya lateral ekuivalen direncanakan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8, seperti penentuan geser dasar seismik yang diatur dalam pasal 7.8.1, penentuan periode pada pasal 7.8.2, hingga distribusi gaya vertikal pasal pasal 7.8.3.

### **1.5.3 Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi pembebanan direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 5.3.1, yaitu :

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E$$

Keterangan :

U = beban ultimate

D = beban mati

W = beban angin

E = beban gempa

R = beban air hujan

L = beban hidup

Lr = beban hidup atap

## **BAB II**

### **PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG**

#### **2.1 Perancangan Struktur Beton Bertulang**

Perancangan struktur beton bertulang harus dilakukan secara bertahap, yaitu :

1. Merencanakan *preliminary design* pada setiap elemen struktur, seperti balok, kolom, pelat, dan tangga sesuai dengan SNI 2847:2019.
2. Merencanakan kebutuhan tulangan pada struktur sekunder, seperti balok anak, balok *luivel*, pelat, dan tangga sesuai dengan SNI 2847:2019.
3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada struktur, yaitu beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban lateral (gempa) sesuai SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2019.
4. Memodelkan struktur menggunakan SAP 2000 untuk mengetahui kelayakan struktur yang sudah direncanakan.
5. Merencanakan kebutuhan tulangan pada struktur primer, seperti balok induk dan kolom sesuai SNI 2847:2019.
6. Menggambarkan elemen struktur sekunder dan struktur primer yang telah direncanakan dengan menggunakan aplikasi AutoCAD.

#### **2.2 Studi Literatur**

Perencanaan modifikasi struktur gedung ini menggunakan berbagai sumber literatur yang akan digunakan sebagai pedoman serta acuan dalam merencanakan struktur gedung yang benar dan sesuai dengan peraturan yang ditetapkan. Studi literatur dan peraturan yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
2. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
3. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Nongedung.
4. SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Nongedung.
5. SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain.
6. RSNI 2847:2018 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
7. PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung.

## **BAB III**

### **PRELIMINARY DESIGN**

#### **3.1 Alur Perencanaan *Preliminary Design***

1. Menentukan dimensi panjang serta lebar balok, yaitu balok induk, balok anak, dan balok luivel menggunakan SNI 2847:2019.
2. Menentukan jenis pelat satu arah atau dua arah, lalu menentukan tebal pelatnya sesuai dengan SNI 2847:2019.
3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada kolom, lalu menentukan dimensi panjang serta lebar kolom.
4. Penentuan dimensi kolom dibagi menjadi dua bagian, yaitu kolom 1 untuk lantai 1 hingga 5 dan kolom 2 untuk lantai 6 hingga atap.
5. Merencanakan dimensi tangga dan *lift*.

#### **3.2 Data Umum Perencanaan**

1. Data Umum Bangunan
  - Fungsi : Perkantoran
  - Jumlah Lantai : 10 Lantai
  - Tinggi Bangunan : +34 meter
  - Struktur Bangunan : Beton Bertulang
2. Data Material (Elemen Pelat dan Balok)
  - Mutu Beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa
  - Tulangan Ulir ( $f_y$ ) : 420 Mpa
  - Tulangan Polos ( $f_y$ ) : 280 Mpa
3. Data Material (Elemen Kolom)
  - Mutu Beton ( $f'_c$ ) : 70 Mpa
  - Tulangan Ulir (Lentur) : 420 Mpa
  - Tulangan Polos : 280 Mpa
  - Tulangan Ulir (Geser) : 700 Mpa

#### **3.3 Pembebanan**

1. Beban mati yang digunakan akan disesuaikan dengan peraturan PPIUG 1983.
  - Beton Bertulang :  $2400 \text{ kg/m}^3$
  - Tegel/Ubin :  $24 \text{ kg/m}^2$
  - Spesi :  $21 \text{ kg/m}^2$
  - Plafond :  $7 \text{ kg/m}^2$
  - Penggantung Plafond :  $7 \text{ kg/m}^2$
  - *Ducting and Plumbing* :  $30 \text{ kg/m}^2$
2. Beban hidup yang digunakan akan disesuaikan dengan SNI 1727:201X (2018) tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
  - Lantai Apartemen :  $192 \text{ kg/m}^{2\text{swx2}}$
  - Beban Hujan :  $20 \text{ kg/m}^2$
  - Beban Atap :  $96 \text{ kg/m}^2$
3. Beban gempa yang digunakan akan disesuaikan dengan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.



### 3.4 Perencanaan Balok

#### 3.4.1 Perencanaan Balok Induk

Tinggi balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1. dengan kondisi perlekatan sederhana, yaitu :

$$h_{min} = \frac{L}{16}$$

Lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1. , yaitu :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Akan tetapi, lebar balok tidak boleh kurang dari nilai paling kecil di antara dua minimal yang ditentukan, yaitu :

$$b_{min 1} = 0.3 h \text{ dan } b_{min 2} = 250 \text{ mm}$$

Keterangan :

h = Tinggi Minimum Balok (cm)

b = Lebar Balok (cm)

L = Panjang Bentang Balok (cm)

Perencanaan balok juga harus mempertimbangkan syarat pada SNI 2847:2019, Pasal 18.6.2.1., yaitu :

$$Ln > 4d$$

Balok induk yang direncanakan adalah BI 1 dengan bentang 8 m.

$$L = 8 \text{ m} = 800 \text{ cm}$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} = \frac{8000}{16} = 50 \text{ cm}$$

$$h_{pakai} = 65 \text{ cm}$$

dan

$$b_{min 1} = 0,3 h = 19.50 \text{ cm}$$

$$b_{min 2} = 25 \text{ cm}$$

$$b_{pakai} = \frac{2}{3} h = 43.33 \text{ cm} = 45 \text{ cm}$$

Ukuran diameter tulangan balok dan kolom akan diasumsikan untuk menghitung persyaratan balok sesuai SNI 2847:2019, yaitu :

Tulangan Longitudinal (dl) : 19 mm

Tulangan Sengkang (ds) : 13 mm

Ukuran Kolom (c1) : 650 mm

Ukuran Kolom (c2) : 650 mm

$$d = h - c - ds - \frac{dl}{2} = 57.75 \text{ cm}$$

$$4d = 231 \text{ cm}$$

$$Ln = L - \frac{c1}{2} - \frac{c2}{2}$$

$$Ln = 800 - \frac{65}{2} - \frac{65}{2} = 735 \text{ cm}$$

$$Ln > 4d \text{ (OK)}$$

Lebar balok pakai sudah memenuhi syarat sehingga dimensi balok BI 1 yang akan digunakan adalah (45/65).

Rekapitulasi perhitungan dimensi balok induk dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok	Bentang Balok (cm)	h min (cm)	h pakai (cm)	b min1 (cm)	b min2 (cm)	b (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)
BI 1	800	50	65	19.50	25	45	45	45/65
BI 2	600	37.50	55	16.50	25	36.67	40	40/55

### 3.4.2 Perencanaan Balok Anak

Tinggi balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1. dengan kondisi menerus dua sisi, yaitu :

$$h_{min} = \frac{L}{21}$$

Lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1. , yaitu :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Akan tetapi, lebar balok tidak boleh kurang dari nilai paling kecil di antara dua minimal yang ditentukan, yaitu :

$$b_{min 1} = 0.3 h \text{ dan } b_{min 2} = 250 \text{ mm}$$

Keterangan :

h = Tinggi Minimum Balok (cm)

b = Lebar Balok (cm)

L = Panjang Bentang Balok (cm)

Balok anak yang direncanakan adalah BA 1 dengan bentang 6 m.

$$L = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$$

$$h_{min} = \frac{L}{21} = \frac{600}{21} = 28.57 \text{ cm}$$

$$h_{pakai} = 50 \text{ cm}$$

dan

$$b_{min 1} = 0,3 h = 15 \text{ cm}$$

$$b_{min 2} = 25 \text{ cm}$$

$$b_{pakai} = \frac{2}{3} h = 33.33 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

Ukuran diameter tulangan balok dan kolom akan diasumsikan untuk menghitung persyaratan balok sesuai SNI 2847:2019, yaitu :

Tulangan Longitudinal (dl) : 19 mm

Tulangan Sengkang (ds) : 13 mm

Ukuran Kolom (c1) : 650 mm  
 Ukuran Kolom (c2) : 650 mm

$$d = h - c - ds - \frac{dl}{2} = 42.75 \text{ cm}$$

$$4d = 171 \text{ cm}$$

$$Ln = L - \frac{c1}{2} - \frac{c2}{2}$$

$$Ln = 600 - \frac{65}{2} - \frac{65}{2} = 535 \text{ cm}$$

$$Ln > 4d \text{ (OK)}$$

Lebar balok pakai sudah memenuhi syarat sehingga dimensi balok BA 1 yang akan digunakan adalah (35/50).

Rekapitulasi perhitungan dimensi balok anak dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok	Bentang Balok (cm)	h min (cm)	h pakai (cm)	b min1 (cm)	b min2 (cm)	b (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)
BA 1	600	28.57	50	15	25	33.33	35	35/50

### 3.4.3 Perencanaan Balok Luivel

Tinggi balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1. dengan kondisi kantilever, yaitu :

$$h \text{ min} = \frac{L}{8}$$

Lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1. , yaitu :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Akan tetapi, lebar balok tidak boleh kurang dari nilai paling kecil di antara dua minimal yang ditentukan, yaitu :

$$b \text{ min } 1 = 0.3 h \text{ dan } b \text{ min } 2 = 250 \text{ mm}$$

Keterangan :

h = Tinggi Minimum Balok (cm)  
 b = Lebar Balok (cm)  
 L = Panjang Bentang Balok (cm)

Balok luivel yang direncanakan adalah BL dengan bentang 2 m.

$$L = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

$$h \text{ min} = \frac{L}{8} = \frac{200}{8} = 25 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai} = 40 \text{ cm}$$

dan

$$b \text{ min } 1 = 0,3 h = 12 \text{ cm}$$

$$b \text{ min } 2 = 25 \text{ cm}$$

$$b \text{ pakai} = \frac{2}{3}h = 26.67 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

Ukuran diameter tulangan balok dan kolom akan diasumsikan untuk menghitung persyaratan balok sesuai SNI 2847:2019, yaitu :

Tulangan Longitudinal (dl) : 19 mm

Tulangan Sengkang (ds) : 13 mm

Ukuran Kolom (c1) : 650 mm

Ukuran Kolom (c2) : 650 mm

$$d = h - c - ds - \frac{dl}{2} = 32.75 \text{ cm}$$

$$4d = 131 \text{ cm}$$

$$Ln = L - \frac{c1}{2} - \frac{c2}{2}$$

$$Ln = 200 - \frac{65}{2} - \frac{65}{2} = 135 \text{ cm}$$

$$Ln > 4d \text{ (OK)}$$

Lebar balok pakai sudah memenuhi syarat sehingga dimensi balok BL yang akan digunakan adalah (30/40).

Rekapitulasi perhitungan dimensi balok luivel dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 3.3.

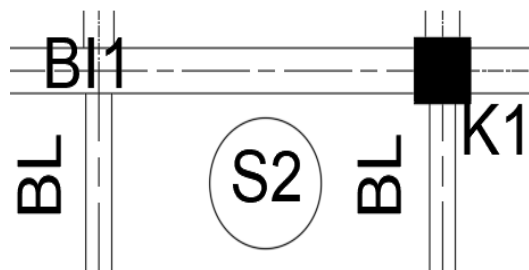
Tabel 3.3 Rekapitulasi Dimensi Balok Luivel

Kode Balok	Bentang Balok (cm)	h min (cm)	h pakai (cm)	b min1 (cm)	b min2 (cm)	b (cm)	b pakai (cm)	Dimensi (cm)
BL	200	25	40	12	25	26.67	30	30/40

### 3.5 Perencanaan Pelat

#### 3.5.1 Pelat Satu Arah

Tebal pelat satu arah ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1. Pelat yang akan direncanakan yaitu pelat S2 dengan ukuran 2 m x 4 m seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Denah Pelat S6 2 m x 4 m

$$Ln = 400 - \frac{1}{2}(30 + 30) = 370 \text{ cm}$$

$$Sn = 200 - \frac{1}{2}(45) = 177.50 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{370}{177.50} = 2.08 > 2 \rightarrow \text{Pelat Satu Arah}$$

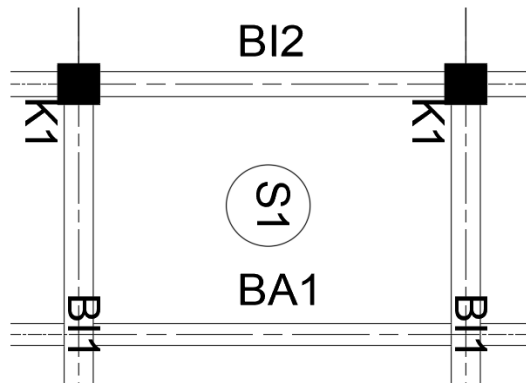
Ketebalan pelat satu solid dengan kedua ujung menerus yang diatur pada SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1. , yaitu :

$$h_{min} = \frac{L}{28} = \frac{400}{28} = 14.29 \text{ cm}$$

Tebal pelat S2 didapatkan sebesar 14.29 cm sehingga ketebalan pelat yang akan digunakan sebesar 15 cm.

### 3.5.2 Pelat Dua Arah

Pelat yang akan direncanakan yaitu pelat S1 dengan ukuran 6 m x 4 m merupakan pelat dua arah. Tebal pelat dua arah ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019.



Gambar 3.2 Denah Pelat S1 6 m x 4 m

$$L_n = 600 - \frac{1}{2}(45 + 45) = 555 \text{ cm}$$

$$S_n = 400 - \frac{1}{2}(40 + 35) = 362.50 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{555}{362.50} = 1.53 < 2 \rightarrow \text{Pelat Dua Arah}$$

Tebal minimum untuk pelat dua arah ditentukan berdasarkan pada SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1. Tugas akhir ini menggunakan  $f_y = 420 \text{ MPa}$  dan pelat S1 merupakan panel interior sehingga digunakan tebal minimum pelat, antara lain:

$$\text{Tebal Minimum } (t_{pm}) = \frac{L_n}{33} = \frac{600}{33} = 18.18 \text{ cm}$$

Selain itu, metode lain yang dapat digunakan untuk menentukan tebal minimum pelat dua arah jika terdapat balok di semua sisi pelat dapat dihitung dengan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2.

- Penampang Balok Sisi Atas

Balok sisi atas merupakan balok interior dan mempunyai penampang, sebagai berikut :

$$b = 45 \text{ cm}$$

$$h = 65 \text{ cm}$$

Sehingga,  $b_e$  yang diperoleh menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8, yaitu :

$$b_e = b + (2 \times h) \leq b + (8 \times t_{pm})$$

$$b_e = 45 + (2 \times 65) \leq 45 + (8 \times 18.18) \text{ cm}$$

$$b_e = 175 \leq 190.45 \text{ cm}$$

$$b_e = 175 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) + 4 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{175}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18.18}{65}\right) + 4 \left(\frac{18.18}{65}\right)^2 + \left(\frac{175}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{150}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right)}$$

$$k = 1.76$$

Momen inersia balok dan juga pelat dapat diperhitungkan dan ditentukan, sebagai berikut :

$$I_b = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 1,76 \times 45 \times 65^3 = 1811318.6810 \text{ cm}^4$$

Jarak balok sejajar yang bersebelahan diketahui, sebagai berikut :

Arah x = 600 cm

Arah y = 400 cm

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (\text{Jarak Balok}_x + \text{Jarak Balok}_y) \times t_{pm}^3$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (600 + 400) \times 18.18^3 = 250438.2670 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{Atas} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1811318.6810}{250438.2670} = 7.23$$

- Penampang Balok Sisi Bawah

Balok sisi bawah merupakan balok interior dan mempunyai penampang, sebagai berikut :

$b = 45 \text{ cm}$

$h = 65 \text{ cm}$

Sehingga,  $b_e$  yang diperoleh menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8, yaitu :

$$b_e = b + (2 \times h) \leq b + (8 \times t_{pm})$$

$$b_e = 45 + (2 \times 65) \leq 45 + (8 \times 18.18) \text{ cm}$$

$$b_e = 175 \leq 190.45 \text{ cm}$$

$$b_e = 175 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) + 4 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{175}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18.18}{65}\right) + 4 \left(\frac{18.18}{65}\right)^2 + \left(\frac{175}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{150}{45} - 1\right) \left(\frac{18.18}{65}\right)}$$

$$k = 1.76$$

Momen inersia balok dan juga pelat dapat diperhitungkan dan ditentukan, sebagai berikut :

$$I_b = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 1,76 \times 45 \times 65^3 = 1811318.6810 \text{ cm}^4$$

Jarak balok sejajar yang bersebelahan diketahui, sebagai berikut :

Arah x = 600 cm

Arah y = 400 cm

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (\text{Jarak Balok}_x + \text{Jarak Balok}_y) \times t_{pm}^3$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (600 + 400) \times 18.18^3 = 250438.2670 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{Bawah} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1811318.6810}{250438.2670} = 7.23$$

- Penampang Balok Sisi Kiri

Balok sisi kiri merupakan balok interior dan mempunyai penampang, sebagai berikut :

$b = 40 \text{ cm}$

$h = 55 \text{ cm}$

Sehingga,  $b_e$  yang diperoleh menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8, yaitu :

$$b_e = b + (2 \times h) \leq b + (8 \times t_{pm})$$

$$b_e = 40 + (2 \times 55) \leq 55 + (8 \times 18.18) \text{ cm}$$

$$b_e = 150 \leq 185.45 \text{ cm}$$

$$b_e = 150 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) + 4 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{150}{40} - 1\right) \left(\frac{18.18}{55}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18.18}{55}\right) + 4 \left(\frac{18.18}{55}\right)^2 + \left(\frac{150}{40} - 1\right) \left(\frac{18.18}{55}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{150}{40} - 1\right) \left(\frac{18.18}{55}\right)}$$

$$k = 1.74$$

Momen inersia balok dan juga pelat dapat diperhitungkan dan ditentukan, sebagai berikut :

$$I_b = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 1,76 \times 40 \times 55^3 = 964712.2196 \text{ cm}^4$$

Jarak balok sejajar yang bersebelahan diketahui, sebagai berikut :

Arah x = 600 cm

Arah y = 400 cm

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (\text{Jarak Balok}_x + \text{Jarak Balok}_y) \times t_{pm}^3$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (600 + 400) \times 18.18^3 = 250438.2670 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{Kiri} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{964712.2196}{250438.2670} = 3.85$$

- Penampang Balok Sisi Kanan

Balok sisi kanan merupakan balok interior dan mempunyai penampang, sebagai berikut :

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

Sehingga,  $b_e$  yang diperoleh menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8, yaitu :

$$b_e = b + (2 \times h) \leq b + (8 \times t_{pm})$$

$$b_e = 35 + (2 \times 50) \leq 50 + (8 \times 18.18) \text{ cm}$$

$$b_e = 135 \leq 180.45 \text{ cm}$$

$$b_e = 135 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right) + 4 \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b} - 1\right) \left(\frac{t_{pm}}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{135}{35} - 1\right) \left(\frac{18.18}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{18.18}{50}\right) + 4 \left(\frac{18.18}{50}\right)^2 + \left(\frac{135}{35} - 1\right) \left(\frac{18.18}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{135}{35} - 1\right) \left(\frac{18.18}{50}\right)}$$

$$k = 1.76$$

Momen inersia balok dan juga pelat dapat diperhitungkan dan ditentukan, sebagai berikut :

$$I_b = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 1,76 \times 35 \times 50^3 = 640364.5173 \text{ cm}^4$$

Jarak balok sejajar yang bersebelahan diketahui, sebagai berikut :

$$\text{Arah x} = 600 \text{ cm}$$

$$\text{Arah y} = 400 \text{ cm}$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (\text{Jarak Balok}_x + \text{Jarak Balok}_y) \times t_{pm}^3$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} \times (600 + 400) \times 18.18^3 = 250438.2670 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{Kanan} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{640364.5173}{250438.2670} = 2.56$$

Setelah didapatkan  $\alpha$  untuk semua sisi, perhitungan tebal minimum dapat diuraikan, sebagai berikut :

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{Atas} + \alpha_{Kanan} + \alpha_{Kiri} + \alpha_{Bawah}}{4}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{7.23 + 7.23 + 3.85 + 2.56}{4} = 5.22$$

$$\alpha_{fm} > 2$$



Tebal minimum pelat dua arah dapat ditentukan menggunakan  $\alpha_{fm}$  yang diatur pada SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2.1, sebagai berikut :

$$t_{p1} = \frac{L_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$t_{p1} = \frac{555 \left( 0,8 + \frac{4200}{1400} \right)}{36 + 9 \times 0.76} = 14.23 \text{ cm} > 18.18 \text{ cm (Digunakan)}$$

$$t_{p2} = 9 \text{ cm}$$

Tebal pelat S1 didapatkan sebesar 14.23 cm sehingga ketebalan pelat yang digunakan sebesar 15 cm.

Rekapitulasi perhitungan ketebalan pelat dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan Ketebalan Pelat

Kode Pelat	Dimensi				$\beta$	Tipe Arah	t min (cm)	t rencana (cm)
	p (cm)	l (cm)	Ln (cm)	Sn (cm)				
S1	600	400	555	362.50	1.53	2	14.23	15
S2	400	200	370	177.50	2.08	1	14.29	15

### 3.6 Perencanaan Kolom

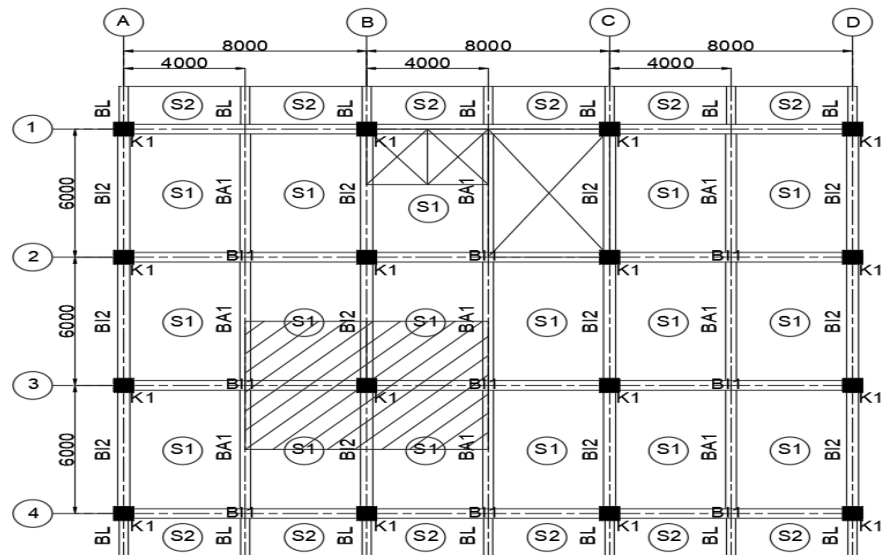
Perencanaan kolom akan direncanakan dengan tiga jenis dimensi kolom yang berbeda pada setiap rentang 5 lantai, yaitu :

- K1 untuk lantai 1 hingga 5.
- K2 untuk lantai 6 hingga 10.

#### 3.6.1 Data Perencanaan

- Tebal Pelat = 15 cm
- Tinggi Setiap Lantai = 330 cm
- Dimensi Kolom Awal = 80 cm x 80 cm
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) = 70 Mpa

Perencanaan dimensi kolom harus memperhitungkan semua beban aksial yang terjadi pada setiap kolom. Beban yang digunakan untuk penentuan dimensi kolom diambil dari beban terbesar pada seperempat bentang terpanjang di setiap lantai seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Luas Pembebanan Kolom

### 3.6.2 Pembebanan Kolom

Pembebanan pada kolom akan memperhitungkan dua beban aksial, yaitu beban mati struktur dan beban hidup struktur. Beban mati direncanakan sesuai dengan PPIUG 1983, sedangkan beban hidup akan direncanakan sesuai dengan SNI 1727:201X (2018). Beban mati dan hidup aksial pelat atap akan diuraikan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Rekapitulasi Beban Mati Struktur

Beban Mati Atap							
No.	Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1.	BI 1	0.45	0.65	4.00	2400		2808
2.	BI 1	0.45	0.65	4.00	2400		2808
3.	BI 2	0.40	0.55	3.00	2400		1584
4.	BI 2	0.40	0.55	3.00	2400		1584
5.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
6.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
7.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
8.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
11.	Pelat Atap (16 cm)	8	0.15	6	2400		17280
12.	Spesi (1 cm)	8		6		21	1008
13.	Plafon	8		6		11	528
14.	Penggantung	8		6		7	336
15.	Ducting & Plumbing	8		6		30	1440
Total							34416
Beban Hidup Atap							
No.	Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1.	Atap Bangunan	8		6		96	4608

- Beban Mati dan Hidup Pelat Lantai
- Beban mati dan hidup aksial pelat Lantai akan diuraikan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Rekapitulasi Beban Mati Struktur

Beban Mati Lantai							
No.	Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1.	BI 1	0.45	0.65	4.00	2400		2808
2.	BI 1	0.45	0.65	4.00	2400		2808
3.	BI 2	0.40	0.55	3.00	2400		1584
4.	BI 2	0.40	0.55	3.00	2400		1584
5.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
6.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
7.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
8.	BA 1	0.35	0.50	3.00	2400		1260
11.	Pelat Atap ( 16 cm)	8	0.15	6	2400		17280
12.	Spesi (1 cm)	8		6		21	1008
13.	Plafon	8		6		11	528
14.	Penggantung	8		6		7	336
15.	<i>Ducting &amp; Plumbing</i>	8		6		30	1440
16.	Kolom	0.80	0.80	3.40	2400		5222.40
17.	Dinding	8		6		200	9520
18.	Ubin	8		6		24	1152
Total							50310.40
No.	Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1.	Lantai Bangunan	8		6		192	9216

### 3.6.3 Perhitungan Dimensi Kolom

- Lantai 1-5 (K1)
- Beban Mati pada 1 Lantai : 50310.40 kg  
 Beban Mati pada 9 Lantai : 452793.60 kg  
 Beban Hidup pada 1 Lantai : 9216 kg  
 Beban Hidup pada 9 Lantai : 82944 kg  
 Beban Mati pada Atap : 34416 kg  
 Beban Hidup pada Atap : 4608 kg

Sehingga, beban kombinasi yang terjadi pada kolom K1, antara lain :

$$DL \text{ Total} = 452793.60 + 34416 = 487209.60 \text{ kg}$$

$$LL \text{ Total} = 82944 + 4608 = 87552 \text{ kg}$$

$$Wu = 1.2DL + 1.6LL = 724734.72 \text{ kg}$$

Luas kolom dapat dihitung menggunakan SNI 2847:2019 pasal 9.3.2.2. , sebagai berikut :

$$A = \frac{W_u}{0.3 \times f'_c} = \frac{(724734.72)}{0.3 \times 700} = 3451.118 \text{ cm}^2$$

$$S = \sqrt{A} = \sqrt{3451.118} = 58.746 \text{ cm} = 65 \text{ cm}$$

Dimensi kolom K1 yang akan digunakan pada perencanaan tugas ini yaitu sebesar 65 x 65 cm.

- Lantai 6-10 (K2)

Beban Mati pada 1 Lantai	: 50310.40 kg
Beban Mati pada 4 Lantai	: 201241.60 kg
Beban Hidup pada 1 Lantai	: 9216 kg
Beban Hidup pada 4 Lantai	: 36864 kg
Beban Mati pada Atap	: 34416 kg
Beban Hidup pada Atap	: 4608 kg

Sehingga, beban kombinasi yang terjadi pada kolom K1, antara lain :

$$DL \text{ Total} = 201241.60 + 34416 = 235657.60 \text{ kg}$$

$$LL \text{ Total} = 36864 + 4608 = 41472 \text{ kg}$$

$$W_u = 1.2DL + 1.6LL = 349144.32 \text{ kg}$$

Luas kolom dapat dihitung menggunakan SNI 2847:2019 pasal 9.3.2.2. , sebagai berikut :

$$A = \frac{W_u}{0.3 \times f'_c} = \frac{(349144.32)}{0.3 \times 700} = 1662.592 \text{ cm}^2$$

$$S = \sqrt{A} = \sqrt{1662.592} = 40.775 \text{ cm} = 45 \text{ cm}$$

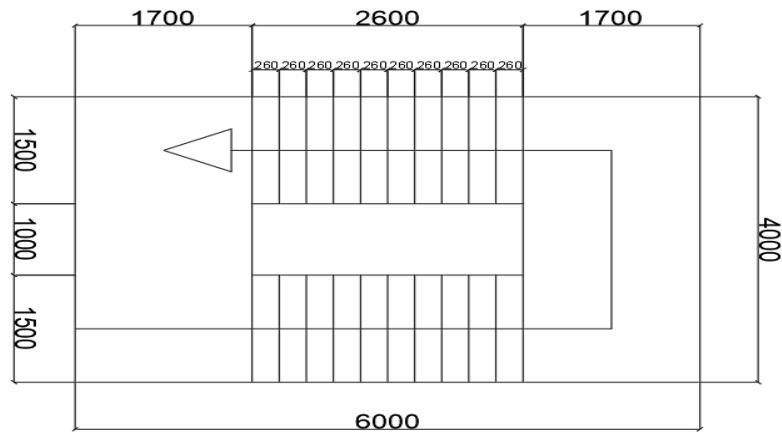
Dimensi kolom K2 yang akan digunakan pada perencanaan tugas ini yaitu sebesar 45 cm x 45 cm.

Rekapitulasi perhitungan dimensi kolom dapat dilihat pada tabel 3.7.

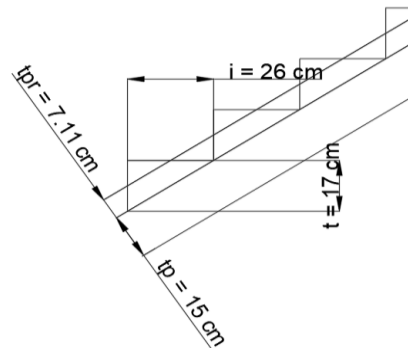
Tabel 3.7 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Kode Kolom	Dimensi	
	B (cm)	H (cm)
K1	60	60
K2	40	40

### 3.7 Perencanaan Tangga



Gambar 3.4 Denah Perencanaan Tangga



Gambar 3.5 Dimensi Pelat Anak Tangga

#### Data Perencanaan Tangga

- Tinggi Lantai : 340 cm
- Tinggi Injakan (t) : 17 cm
- Lebar Injakan (i) : 26 cm
- Lebar Tangga : 150 cm
- Tebal Pelat Tangga ( $t_p$ ) : 15 cm
- Jumlah Tanjakan : 20
- Jumlah Injakan :  $20 - 1 = 19$
- Elevasi1 : 170 cm
- Tebal Pelat Bordes : 15 cm
- Lebar Bordes : 170 cm
- Panjang Bordes : 400 cm
- Panjang Horizontal Tangga : 600 cm
- Kemiringan Tangga :  $\arctan \alpha \frac{17}{26} = 33.17^\circ$
- Tebal Pelat Rata-Rata ( $t_{pr}$ ) :  $\frac{i}{2} \sin \alpha = 7.11 \text{ cm}$
- Tebal Pelat Total :  $t_{pr} + t_p = 23 \text{ cm}$

Perencanaan tangga harus memenuhi syarat standard kemiringan tangga dan ukuran dimensi anak tangga, sebagai berikut :

Syarat Kemiringan Tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$
$$25^\circ \leq 33.17^\circ \leq 40^\circ \text{ (OK)}$$

Syarat Dimensi Anak Tangga

$$60 \leq (2t + i) \leq 65$$
$$60 \leq (2(17) + 26) \leq 65$$
$$60 \leq 60 \leq 65 \text{ (OK)}$$

### 3.8 Perencanaan Lift

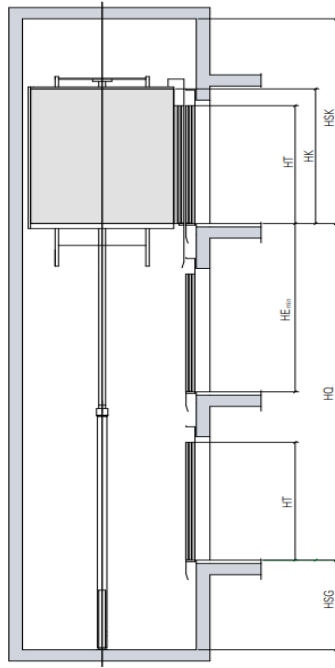
Perencanaan struktur pada buku ini akan menggunakan *lift* yang diproduksi oleh *Schindler 2600* dengan *drive hydraulic rucksack* tipe T2, seperti gambar 4.7 dan 4.8. Spesifikasi *lift* yang akan digunakan, antara lain :

- *Drive* : *Hydraulic Rucksack*
- *Load Capacity* : 1000 kg
- *Passangers* : 13 orang
- *Speed* : 0.63 m/s
- *Number of Entrances*: 1
- *Car* : BK : 1100 mm  
TK : 2200 mm  
HK : 2000 mm
- *Door* : BT : 1100 mm  
HT : 2000 mm  
Tipe : T2
- *Shaft* : BS : 2000 mm  
TS : 2600 mm  
HSG : 1350 mm  
HSK : 3400 mm

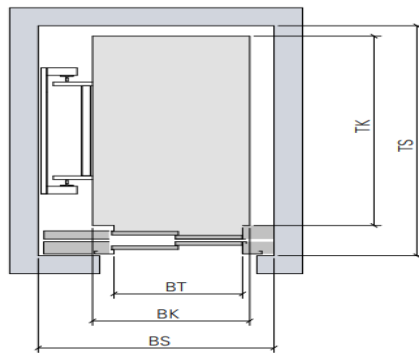
Pemilihan dimensi *lift* disesuaikan berdasarkan rentang ukuran yang disediakan oleh brosur *Schindler 2600*.

Keterangan :

- BK : *Car Width*  
TK : *Car Depth*  
HK : *Car Height*  
BT : *Door Width*  
HT : *Door Height*  
BS : *Shaft Width*  
TS : *Shaft Depth*  
HSG : *Shaft Pit Depth*  
HSK : *Clear Over Head*



Gambar 3.6 Dimensi *Lift 1 Pintu* dengan *Rucksack System*



Gambar 3.7 Dimensi *Lift 1 Pintu* dengan *Telescopic Door*

## BAB IV

### PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

#### 4.1 Alur Perencanaan Struktur Sekunder

1. Menentukan penulangan yang dibutuhkan pada pelat anak tangga dan pelat bordes.
2. Menentukan penulangan yang dibutuhkan pada balok anak dan balok luivel.
3. Menentukan penulangan yang dibutuhkan pada pelat lantai, pelat atap, dan pelat luivel.

#### 4.2 Perencanaan Tangga

1. Menghitung gaya geser dan gaya momen yang terjadi pada struktur pelat anak tangga dan pelat bordes.
2. Menghitung kebutuhan tulangan yang diperlukan untuk pelat anak tangga.
3. Menghitung kebutuhan tulangan yang diperlukan untuk pelat bordes.
4. Menghitung kebutuhan tulangan yang diperlukan untuk balok bordes.

##### 4.2.1 Data Perencanaan Tangga

- Tinggi Lantai : 340 cm
- Tinggi Injakan (t) : 17 cm
- Lebar Injakan (i) : 26 cm
- Lebar Tangga : 150 cm
- Tebal Pelat Tangga ( $t_p$ ) : 15 cm
- Jumlah Tanjakan : 20
- Jumlah Injakan :  $20 - 1 = 19$
- Elevasi Bordes : 170 cm
- Tebal Pelat Bordes : 15 cm
- Lebar Bordes : 170 cm
- Panjang Bordes : 400 cm
- Panjang Horizontal Tangga : 600 cm
- Kemiringan Tangga :  $\arctan \alpha \frac{17}{26} = 33.17^\circ$
- Tebal Pelat Rata-Rata ( $t_{pr}$ ) :  $\frac{i}{2} \sin \alpha = 7.11 \text{ cm}$
- Tebal Pelat Total :  $t_{pr} + t_p = 23 \text{ cm}$

##### 4.2.2 Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes

###### 4.2.2.1 Pembebanan Pelat Tangga

- Beban Mati

Pelat Tangga :  $\frac{0.23 \times 2400}{\cos 33.17} = 634.01 \text{ kg/m}$

3 1 cm :  $2400 \times 0.01 = 24 \text{ kg/m}$

Spesi 2 cm :  $2100 \times 0.02 = 42 \text{ kg/m}$

Sandaran :  $50 \text{ kg/m}$

Tegel+Spesi Vertikal :  $\frac{(24+42) \times 1.7}{2.6} = 43.15 \text{ kg/m}$

$q_D$  :  $793.16 \text{ kg/m}$

- Beban Hidup

$q_L$  :  $479 \text{ kg/m}$

- Beban *Ultimate*

$q_{U1}$  :  $1.2q_D + 1.6q_L = 1718.19 \text{ kg/m}$

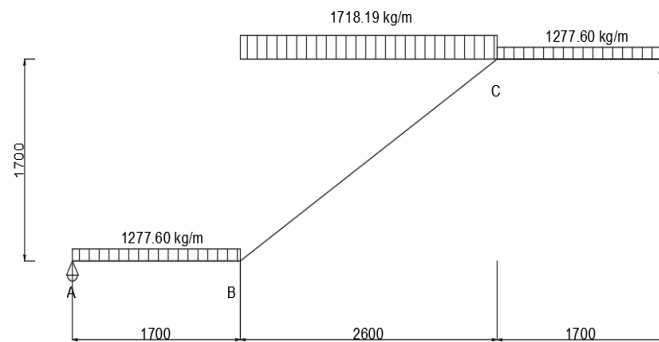


- **Beban Mati**
- |              |   |
|--------------|---|
| Pelat Bordes | : $0.15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}$ |
| Tegel 1 cm   | : $2400 \times 0.01 = 24 \text{ kg/m}$  |
| Spesi 2 cm   | : $2100 \times 0.02 = 42 \text{ kg/m}$  |
| qd           | : $426 \text{ kg/m}$                    |

- Beban Hidup  
 $q_L$  : 479 kg/m
- Beban *Ultimate*  
 $q_{U2}$  :  $1.2q_D + 1.6q_L = 1277.60 \text{ kg/m}$

### 4.2.3 Perhitungan Gaya Tangga

Perhitungan gaya tangga pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan dengan mekanika teknik dasar setengah lantai serta permisalan perletakkan sendi dan rol seperti pada gambar 4.1.



### Gambar 4.1 Permodelan Tangga

#### 4.2.3.1 Perhitungan Reaksi

- $\Sigma M_a = 0$   
 $(R_d \times 6) - (q_{U2} \times 0.50 \times 1.70) - (q_{U1} \times 2.60 \times (2.60/2 + 1.70)) - (q_{U2} \times 1.70 \times (1.70/2 + 2.60 + 1.70)) = 0$   
 $R_d = 4405.57 \text{ kg}$
- $\Sigma M_d = 0$   
 $(R_a \times 6) - (q_{U2} \times 0.50 \times 1.70) - (q_{U1} \times 2.60 \times (2.60/2 + 1.70)) - (q_{U2} \times 1.70 \times (1.70/2 + 2.60 + 1.70)) = 0$   
 $R_a = 4405.57 \text{ kg}$
- Cek  $\Sigma V = 0$   
 $R_a + R_d - (q_{U1} \times 2.60) - (2 \times q_{U2} \times 1.70) = 0 \text{ (OK)}$

#### 4.2.3.2 Perhitungan Gaya Dalam

1. Gaya Normal
    - a. Bordes AB
- N = 0 kg

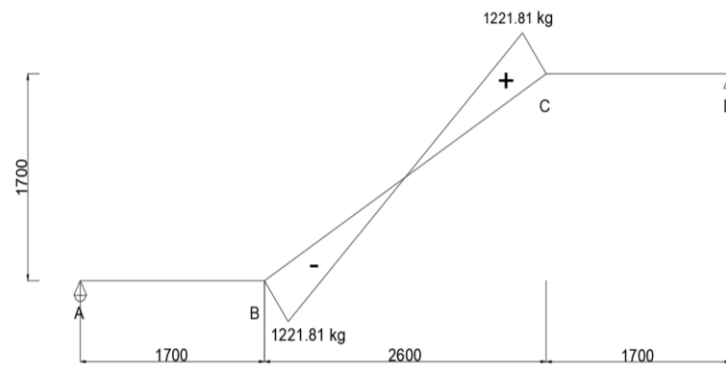
b. Tangga BC

$$\begin{aligned} N_s &= (-R_a + (q_{U2} \times 1.70) + q_{U1} \times s) \sin \alpha \\ s &= 0 \rightarrow N_{bkanan} = -1221.81 \text{ kg} \\ s &= 2.60 \rightarrow N_{ckiri} = 1221.81 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Bordes CD

$$N = 0 \text{ kg}$$

Dari perhitungan gaya normal tersebut, diagram gaya normal dapat dimodelkan seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram Gaya Normal Tangga

2. Gaya Lintang

a. Bordes AB

$$\begin{aligned} D_s &= R_a - (q_{U2} \times s) \\ s &= 0 \rightarrow D_a = 4405.57 \text{ kg} \\ s &= 1.70 \rightarrow D_{bkiri} = 2233.65 \text{ kg} \end{aligned}$$

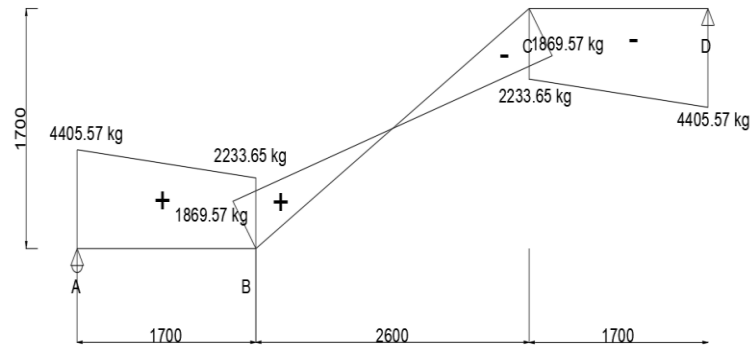
b. Tangga BC

$$\begin{aligned} N_x &= (R_a - (q_{U2} \times 1.70) + q_{U1} \times s) \cos \alpha \\ s &= 0 \rightarrow D_{bkanan} = -1869.57 \text{ kg} \\ s &= 2.60 \rightarrow D_{ckiri} = 1869.57 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Bordes CD

$$\begin{aligned} D_s &= -R_d - (q_{U2} \times s) \\ s &= 0 \rightarrow D_d = -4405.57 \text{ kg} \\ s &= 1.70 \rightarrow D_{ckanan} = -2233.65 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan gaya lintang tersebut, diagram gaya lintang dapat dimodelkan seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Gaya Lintang Tangga

### 3. Gaya Momen

#### a. Bordes AB

$$M_s = R_a \times s - (\frac{1}{2} q_{U2} \times s^2)$$

$$s = 0 \rightarrow M_a = 0 \text{ kgm}$$

$$s = 1.70 \rightarrow M_{bkiri} = 5643.34 \text{ kgm}$$

#### b. Tangga BC

$$M_x = R_a (1.70 + s) - (q_{U2} \times 1.70 \times (1.70/2 + s)) - (\frac{1}{2} q_{U1} \times s^2)$$

$$s = 0 \rightarrow M_{bkanan} = 5643.34 \text{ kgm}$$

$$s = 2.60 \rightarrow M_{ckiri} = 5643.34 \text{ kgm}$$

#### c. Bordes CD

$$M_s = R_d \times s - (\frac{1}{2} q_{U2} \times s^2)$$

$$s = 0 \rightarrow M_d = 0 \text{ kgm}$$

$$s = 1.70 \rightarrow M_{ckanan} = 5643.34 \text{ kgm}$$

Momen maksimum yang terjadi pada tangga dapat dihitung jarak dan nilainya, sebagai berikut :

#### a. Jarak Momen Maksimum

$$D = 0 \text{ (Pada Tangga BC)}$$

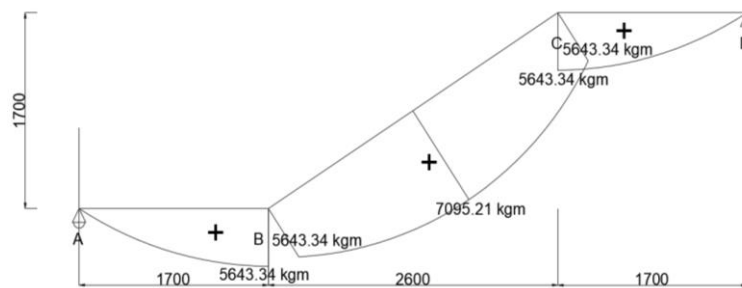
$$0 = (R_a - q_{U2} \times 1.70 - q_{U1} \times s) \cos \alpha$$

$$s = 1.30 \text{ m}$$

#### b. Nilai Momen Maksimum

$$M_{max} = R_a (1.70 + s) - (q_{U2} \times 1.70 \times (1.70/2 + s)) - (\frac{1}{2} q_{U1} \times s^2) = 7095.21 \text{ kgm}$$

Dari perhitungan gaya momen tersebut, diagram gaya normal dapat dimodelkan seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram Momen Lintang Tangga

## 4.2.4 Perhitungan Penulangan Tangga

### 4.2.4.1 Penulangan Pelat Tangga

#### 1. Data Perencanaan

- $F'_c$  : 40 MPa
- $F_y$  : 420 Mpa
- Cover : 20 mm
- Tulangan (D) : D16
- $D_x$  :  $t_{\text{tangga}} - \text{cover} - (D/2)$   
 $150 - 20 - (16/2) = 122 \text{ mm}$
- $\rho_{\min}$  : 0.0273
- $\rho_{\min}$  : 0.0033
- $m$  :  $\frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = 12.35$

#### 2. – Tulangan Lentur

$$\begin{aligned} \text{Mu} &: 7095.21 \text{ kgm} \\ &69604032.46 \text{ Nmm} \\ \text{Mn} &: \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{69604032.46}{0.90} \\ &77337813.85 \\ \text{Rn} &: \frac{\text{Mn}}{b d^2} = \frac{77337813.85}{1000 \times 122} \\ &5.19 \\ \rho &: \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &\frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 5.19}{420}} \right) \\ &0.013 \text{ (Digunakan)} \\ \text{As Perlu} &: \rho \times b \times d \\ &0.013 \times 1000 \times 122 = 1646.59 \text{ mm}^2 \\ \text{As Tul. (D16)} &: \frac{1}{4} \pi D^2 = 201.06 \text{ mm}^2 \\ \text{n Perlu} &: \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 8.19 = 10 \text{ Buah} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

$$\text{S Min} : 3h = 450 \text{ mm dan } 450 \text{ mm}$$

$$\text{S Perlu} : \frac{1000}{10} = 100 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan lentur pelat tangga yang akan digunakan adalah D16-100 mm.

#### – Tulangan Bagi

$$\begin{aligned} \text{As Pakai} &: n \text{ Pakai} \times D16 \\ &10 \times 201.06 = 2010.62 \text{ mm}^2 \\ \text{As Tul. Bagi} &: 20\% \text{ As Pakai} = 402.12 \text{ mm}^2 \\ \text{As Tul. (D10)} &: \frac{1}{4} \pi D^2 = 78.54 \text{ mm}^2 \\ \text{n Perlu} &: \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 5.12 = 6 \text{ Buah} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

$$\text{S Min} : 3h = 450 \text{ mm dan } 450 \text{ mm}$$

$$\text{S Perlu} : \frac{1000}{6} = 166.67 \text{ mm} = 150 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan bagi pelat tangga yang akan digunakan adalah D10-150 mm.

– Tulangan Susut

Sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1. ,  $\rho_{\min}$  tulangan ulir susut dengan  $f_y = 420$  Mpa menggunakan 0.002.

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &: 0.002 \\ \text{As Perlu} &: \rho \times b \times d \\ &0.002 \times 1000 \times 122 = 244 \text{ mm}^2 \\ \text{As Tul. (D10)} &: \frac{1}{4} \pi D^2 = 78.54 \text{ mm}^2 \\ n \text{ Perlu} &: \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 3.11 = 4 \text{ Buah}\end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

$$\begin{aligned}\text{S Min} &: 3h = 450 \text{ mm dan } 450 \text{ mm} \\ \text{S Perlu} &: \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm} = 250 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

Tulangan susut pelat tangga yang akan digunakan adalah D10-250 mm.

#### 4.2.4.2 Penulangan Pelat Bordes

1. Data Perencanaan

- $F'_c$  : 40 MPa
- $F_y$  : 420 Mpa
- Cover : 20 mm
- Tulangan (D) : D16
- $D_x$  :  $t_{\text{tangga}} - \text{cover} - (D/2)$   
 $150 - 20 - (16/2) = 122 \text{ mm}$
- $\rho_{\min}$  : 0.0273
- $\rho_{\min}$  : 0.0033
- $m$  :  $\frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = 12.35$

2. – Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}\text{Mu} &: 5643.34 \text{ kgm} \\ &55361155.7 \text{ Nmm} \\ \text{Mn} &: \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{55361155.7}{0.90} \\ &61512395.22 \\ \text{Rn} &: \frac{\text{Mn}}{bd^2} = \frac{61512395.22}{1000 \times 122} \\ &4.13 \\ \rho &: \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &\frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 4.13}{420}} \right) \\ &0.011 \text{ (Digunakan)} \\ \text{As Perlu} &: \rho \times b \times d \\ &0.011 \times 1000 \times 122 = 1283.93 \text{ mm}^2 \\ \text{As Tul. (D16)} &: \frac{1}{4} \pi D^2 = 201.06 \text{ mm}^2 \\ n \text{ Perlu} &: \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 6.38 = 8 \text{ Buah}\end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

S Min :  $3h = 450 \text{ mm}$  dan  $450 \text{ mm}$

S Perlu :  $\frac{1000}{8} = 125 \text{ mm}$  (OK)

Tulangan lentur pelat tangga yang akan digunakan adalah D16-120 mm.

– Tulangan Bagi

As Pakai :  $n \text{ Pakai} \times D16$

$$8 \times 201.06 = 1608.49 \text{ mm}^2$$

As Tul. Bagi :  $20\% \text{ As Pakai} = 321.69 \text{ mm}^2$

As Tul. (D10) :  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 78.54 \text{ mm}^2$

n Perlu :  $\frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 4.09 = 5 \text{ Buah}$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

S Min :  $3h = 450 \text{ mm}$  dan  $450 \text{ mm}$

S Perlu :  $\frac{1000}{5} = 200 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$  (OK)

Tulangan bagi pelat tangga yang akan digunakan adalah D10-200 mm.

– Tulangan Susut

Sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1. ,  $\rho_{\min}$  tulangan ulir susut dengan  $f_y = 420 \text{ Mpa}$  menggunakan 0.002.

$\rho_{\min}$  : 0.002

As Perlu :  $\rho \times b \times d$

$$0.002 \times 1000 \times 122 = 244 \text{ mm}^2$$

As Tul. (D10) :  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 78.54 \text{ mm}^2$

n Perlu :  $\frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 3.11 = 4 \text{ Buah}$

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3. spasi maksimum untuk tulangan ulir, antara lain :

S Min :  $3h = 450 \text{ mm}$  dan  $450 \text{ mm}$

S Perlu :  $\frac{1000}{4} = 250 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$  (OK)

Tulangan susut pelat tangga yang akan digunakan adalah D10-250 mm.

#### 4.2.5 Perencanaan Balok Bordes

##### 4.2.5.1 Perencanaan Dimensi Balok Bordes

Tinggi balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1. dengan kondisi perlekatan sederhana, yaitu :

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

Lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1. , yaitu :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Akan tetapi, lebar balok tidak boleh kurang dari nilai paling kecil di antara dua minimal yang ditentukan, yaitu :

$$b \text{ min } 1 = 0.3 h \text{ dan } b \text{ min } 2 = 250 \text{ mm}$$

Keterangan :

h = Tinggi Minimum Balok (cm)

b = Lebar Balok (cm)

L = Panjang Bentang Balok (cm)

Balok bordes yang direncanakan memiliki bentang 4 m.

$$L = 4 \text{ m} = 400 \text{ cm}$$

$$h \text{ min} = \frac{L}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm}$$

$$h \text{ pakai} = 30 \text{ cm}$$

dan

$$b \text{ min } 1 = 0,3 h = 9 \text{ cm}$$

$$b \text{ min } 2 = 25 \text{ cm}$$

$$b \text{ pakai} = \frac{2}{3} h = 20 \text{ cm}$$

Ukuran diameter tulangan balok dan kolom akan diasumsikan untuk menghitung persyaratan balok sesuai SNI 2847:2019, yaitu :

Tulangan Longitudinal (dl) : 16 mm

Tulangan Sengkang (ds) : 10 mm

Ukuran Kolom (c1) : 600 mm

Ukuran Kolom (c2) : 600 mm

$$d = h - c - ds - \frac{dl}{2} = 23.20 \text{ cm}$$

$$4d = 92.80 \text{ cm}$$

$$Ln = L - \frac{c1}{2} - \frac{c2}{2}$$

$$Ln = 400 - \frac{60}{2} - \frac{60}{2} = 340 \text{ cm}$$

$$Ln > 4d \text{ (OK)}$$

Lebar balok pakai sudah memenuhi syarat sehingga dimensi balok bordes yang akan digunakan adalah (20/30).

#### 1.1.1.1 Pembebanan Balok Bordes

- Beban Mati

$$q_D \text{ Bordes} : 426 \times 1.70 = 724.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Balok} : 0.2 \times 0.3 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$q_D : 868.20 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup

$$q_L : 479 \text{ kg/m}$$

- Beban *Ultimate*

$$q_{U2} : 1.2q_D + 1.6q_L = 2344.72 \text{ kg/m}$$

### 1.1.1.2 Data Perencanaan Balok Bordes

- $F'_c$  : 40 MPa
- $F_y$  : 420 Mpa
- Cover : 40 mm
- Tulangan Lentur (DL) : D16
- Tulang Geser (DS) : D10
- $D_x$  :  $t_{\text{pelatb}} - \text{cover} - (\text{DS}) - (\text{DL}/2)$   
 $300 - 40 - (10) - (16/2) = 242 \text{ mm}$
- $\rho_{\min}$  : 0.0273
- $\rho_{\min}$  : 0.0033
- $m$  :  $\frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = 12.35$

### 1.1.1.3 Penulangan Balok Bordes

#### 1. – Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &: \frac{1}{12} q u \times L^2 \\
 &\quad \frac{1}{12} 2344.72 \times 4^2 \\
 &\quad 3126.29 \text{ kgm} \\
 &\quad 30668937.60 \text{ Nmm} \\
 \text{Mn} &: \frac{Mu}{\phi} = \frac{30668937.60}{0.90} \\
 &\quad 34076597.33 \text{ Nmm} \\
 \text{Rn} &: \frac{Mn}{b d^2} = \frac{34076597.33}{200 \times 242^2} \\
 &\quad 2.91 \\
 \rho &: \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\
 &\quad \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 2.91}{420}} \right) \\
 &\quad 0.0073 \text{ (Digunakan)} \\
 \text{As Perlu} &: \rho \times b \times d \\
 &\quad 0.0073 \times 200 \times 242 = 435.11 \text{ mm}^2 \\
 \text{As Tul. (D16)} &: \frac{1}{4} \pi D^2 = 201.06 \text{ mm}^2 \\
 \text{n Perlu} &: \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}} = 2.16 = 3 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

Tulangan lentur tumpuan balok bordes yang akan digunakan adalah 3D16.

#### 2. – Tulangan Lentur Lapangan

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &: 0.50 \times \left( \frac{1}{12} q u \times L^2 \right) \\
 &\quad 0.50 \times \left( \frac{1}{12} 2344.72 \times 4^2 \right) \\
 &\quad 1563.15 \text{ kgm} \\
 &\quad 15334468.80 \text{ Nmm} \\
 \text{Mn} &: \frac{Mu}{\phi} = \frac{15334468.80}{0.9} \\
 &\quad 17038298.67 \text{ Nmm} \\
 \text{Rn} &: \frac{Mn}{b d^2} = \frac{17038298.67}{200 \times 242^2} \\
 &\quad 1.45
 \end{aligned}$$



$$\rho : \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 1.45}{420}} \right)$$

0.0035 (Digunakan)

As Perlu :  $\rho \times b \times d$

$$0.0035 \times 200 \times 242 = 212.46 \text{ mm}^2$$

As Tul. (D16) :  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 201.06 \text{ mm}^2$

n Perlu :  $\frac{As \text{ Perlu}}{As \text{ Tulangan}} = 1.05 = 2 \text{ Buah}$

Tulangan lentur lapangan balok bordes yang akan digunakan adalah 2D16.

### 3. – Tulangan Geser

$V_u$  :  $\left( \frac{1}{2} qu \times L \right)$

$$\left( \frac{1}{2} 2344.72 \times 4 \right)$$

4689.440 kg

46003.41 N

$V_c$  :  $0.17 \left( \sqrt{f'c} \times b \times d \right)$

$$0.17 \left( \sqrt{40} \times 200 \times 300 \right)$$

64510.46 N

$\phi V_c$  :  $0.75 \times 64510.46$

48382.85 N

$0.5 \phi V_c$  :  $0.50 \times 0.75 \times 64510.46$

24191.42 N

Kuat geser tulangan mengalami kondisi  $0.5 \phi V_c < V_u < V_c$  sehingga digunakan tulangan geser minimum.

$V_n$  :  $\left( \frac{V_u}{\phi} \right)$

$$\left( \frac{46003.41}{0.75} \right)$$

61337.88 N

$V_s = V_n$  : 61337.88 N

$A_v$  (D10) :  $\frac{1}{4} \pi D^2 = 157.08 \text{ mm}^2$

s :  $\frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$

$$\frac{157.08 \times 420 \times 242}{61337.88}$$

260.29 mm

Sesuai SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2. , spasi maksimum untuk tulangan geser ditentukan berdasarkan nilai  $V_s$ , yaitu :

$0.33 \sqrt{f'c} \times b \times d$  : 101015.80 N

Nilai  $V_s$  didapatkan lebih kecil dari  $0.33 \sqrt{f'c} \times b \times d$  sehingga spasi maksimum tidak boleh melebihi dari nilai terendah batasan yang telah diatur pada SNI 2847:2019.

S Min 1 :  $d/2 = 121 \text{ mm}$  (Dipilih)

S Min 2 : 600 mm

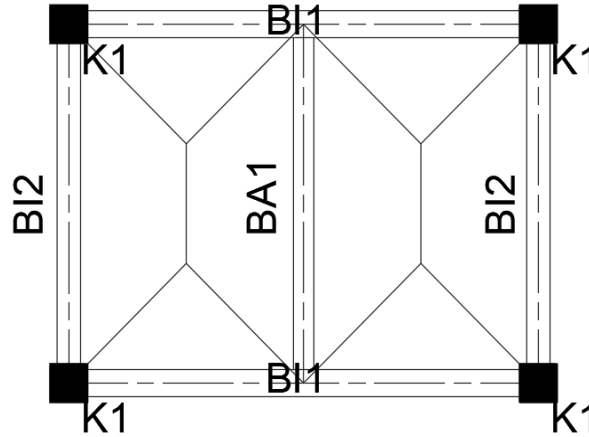
S Pakai : 120 mm

Tulangan geser balok bordes yang akan digunakan adalah D10-120 mm.

#### 4.3 Perencanaan Balok Anak

1. Menentukan dan menghitung beban-beban yang terjadi pada balok anak, seperti beban pelat, spesi, lantai, dan beban gravitasi lainnya.
2. Menentukan kebutuhan tulangan longitudinal tumpuan dan lapangan yang masing-masing memiliki serat atas dan bawah. Lalu, dilakukan kontrol regangan pada masing-masing penentuan tulangan longitudinal.
3. Menentukan kebutuhan tulangan sengkang dan jarak spasi sengkang.

#### 4.4 Perhitungan Pembebanan



Gambar 4.5 Distribusi Beban Pelat 2 Arah terhadap Balok Anak.

- Perhitungan Beban Trapezium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P1 + P2$$

$$M_{\max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{\max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P2 \times Lx)$$

$$M_{\max} = (\frac{1}{2} P1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) - (\frac{1}{4} P2 \times Ly) + (\frac{1}{4} P2 \times Lx)$$

$$M_{\max} = (\frac{1}{4} P2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P2 \times Lx)$$

$$M_{\max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Ly \times Lx^2) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Ly \times Lx^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{\max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 (\frac{1}{2} Lx - (\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2}))$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times Ly^2$$

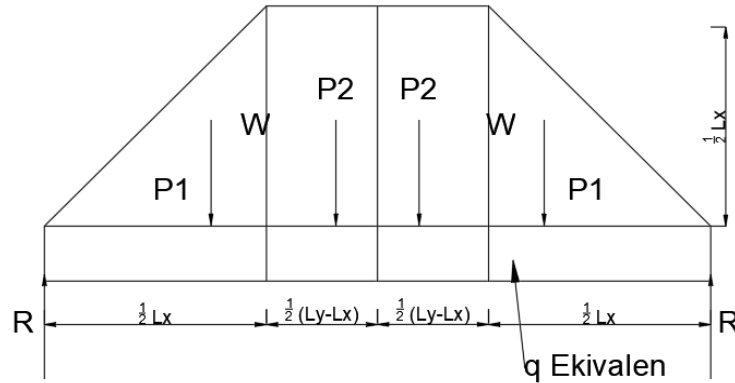
$$M_{\max} = M_{eq}$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 (\frac{1}{2} Lx - (\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2})) = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times Ly^2$$

Sehingga, didapatkan rumus perhitungan pembebanan trapesium, yaitu :

$$q_{ek} = (q \times \frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2})$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$



Gambar 4.6 Beban Ekivalen Trapesium.

- **Pembebanan**

- **Beban Mati ( $q_D$ )**

Berat Balok Anak  $= 2400 \times 0.55 \times 0.35 = 420 \text{ kg/m}$

Berat Pelat  $= \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$

$$= \frac{1}{2} \times 360 \times \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{3.60}{5.50} \right)^2 \right)$$

$$= 1114.23 \text{ kg/m}$$

Plafon  $= 11 \times 4 = 44 \text{ kg/m}$

Penggantung  $= 7 \times 4 = 28 \text{ kg/m}$

Ducting  $= 30 \times 4 = 120 \text{ kg/m}$

Keramik  $= 24 \times 4 = 96 \text{ kg/m}$

Spesi (1 cm)  $= 21 \times 4 = 84 \text{ kg/m}$

$q_D = 2266.24 \text{ kg/m}$

- **Beban Hidup ( $q_L$ )**

$q_L = 479 \text{ kg/m}$

- **Kombinasi Beban ( $q_U$ )**

$q_U \text{ pakai} = 1,2q_D + 1,6q_L = 3485.89 \text{ kg/m}$

#### 4.4.1 Perhitungan Tulangan Balok Anak

- **Perhitungan Momen dan Gaya Geser**

$$\beta_1 = 0.85 - \left( 0.05 \frac{f'c - 28}{7} \right)$$

$$= 0.85 - \left( 0.05 \frac{40 - 28}{7} \right)$$

$$= 0.76$$

$$\rho_{min1} = 0.25 \times \frac{\sqrt{f'c}}{420}$$

$$= 0.25 \times \frac{\sqrt{40}}{420}$$

$$= 0.0038$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\min 2} &= 1.4 f_y \\
&= 1.4 \times 420 \\
&= 0.0033 \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\
&= \frac{420}{0.85 \times 40} \\
&= 12.35 \\
d &= h_{\text{balok}} - \text{cover} - \emptyset_{\text{sengkang}} - 0.50 \text{ Dtulangan} \\
&= 500 - 50 - 13 - 0.50(19) \\
&= 427.50 \text{ mm} \\
L_{n1} &= 6 - 0.5(0.45+0.45) = 5.55 \text{ m} \\
L_{n2} &= 6 - 0.5(0.45+0.45) = 5.55 \text{ m} \\
L_n &= \frac{L_{n1} + L_{n2}}{2} \\
&= \frac{5.55 + 5.55}{2} \\
&= 5.55 \text{ m} \\
M_{\text{tumpuan}} &= \frac{1}{10} \times q_u \times L_n^2 \\
&= \frac{1}{10} \times 3485.89 \times 5.55^2 \\
&= 10737.40 \text{ kgm} \\
M_{\text{lapangan}} &= \frac{1}{14} \times q_u \times L_n^2 \\
&= \frac{1}{14} \times 3485.89 \times 5.55^2 \\
&= 7669.57 \text{ kgm} \\
V &= 1.15 \times \frac{q_u \times L_n}{2} \\
&= 1.15 \times \frac{3485.89 \times 5.55}{2} \\
&= 11124.33 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Perhitungan Tulangan Balok Anak
  - Tulangan Lentur Tumpuan Negatif

$$\begin{aligned}
M_u &= 10737.40 \text{ kgm} \\
\phi &= 0.90 \\
R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
&= \frac{10737.40 \times 10^4}{0.90 \times 350 \times 427.50^2} \\
&= 1.83 \text{ N/mm}^2 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 1.83}{420}} \right) \\
&= 0.0048 \\
\rho_{\text{pakai}} &= 0.0048 > \rho_{\min} \\
A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
&= 0.0048 \times 350 \times 427.50 \\
&= 670.39 \text{ mm}^2 \\
n_{\text{pakai}} &= \frac{A_s_{\text{perlu}}}{A_s_{\text{tulangan}}} \\
&= \frac{670.39}{\frac{1}{4} \pi 19^2}
\end{aligned}$$

$$= 2.36 \text{ buah} = 3 \text{ buah}$$

$$s_{\min 1} = \text{Dtulangan} = 19 \text{ mm}$$

$$s_{\min 2} = 25 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{pakai}} &= \frac{b - n_{\text{pakai}} \text{Dtulangan} - 2 \text{clear cover} - 2\phi_{\text{sengkang}}}{n_{\text{pakai}} - 1} \\ &= \frac{350 - 3(19) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1} \\ &= 83.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} > s_{\min} \text{ (OK)}$$

#### Kontrol Regangan

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{670.39 \times 420}{0.85 \times 40 \times 350} \\ &= 23.66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{23.66}{0.76} \\ &= 30.96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0.003 \frac{d - c}{c} \\ &= 0.003 \frac{427.50 - 30.96}{30.96} \\ &= 0.038 > 0.005 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Tulangan lentur tumpuan negatif didapatkan sebesar 3D19.

#### ○ Tulangan Lentur Tumpuan Positif

$$M_u = 0.50 \times M_{u \text{ negatif tumpuan}}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\ &= \frac{0.50 \times 10737.40 \times 10^4}{0.90 \times 350 \times 427.50^2} \\ &= 0.91 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.91}{420}} \right) \\ &= 0.0022 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0038 > \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0.0038 \times 350 \times 427.50 \\ &= 563.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{563.28}{\frac{1}{4} \pi 19^2} \\ &= 1.99 \text{ buah} = 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$s_{\min 1} = \text{Dtulangan} = 19 \text{ mm}$$

$$s_{\min 2} = 25 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$s_{\text{pakai}} = \frac{b - n_{\text{pakai}} \text{Dtulangan} - 2 \text{clear cover} - 2\phi_{\text{sengkang}}}{n_{\text{pakai}} - 1}$$

$$= \frac{350-2(19)-2(50)-2(13)}{2-1}$$

$$= 186 \text{ mm}$$

spakai > smin (OK)

Kontrol Regangan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{563,28 \times 420}{0,85 \times 40 \times 350}$$

$$= 19,88 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{19,88}{0,76}$$

$$= 26,01 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c}$$

$$= 0,003 \frac{427,50-26,01}{26,01}$$

$$= 0,046 > 0,005 \text{ (OK)}$$

Tulangan lentur tumpuan positif didapatkan sebesar 2D19.

○ Tulangan Lentur Lapangan Positif  
Mu = 7669.57

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{7669,57 \times 10^4}{0,90 \times 350 \times 427,50^2}$$

$$= 1,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,35 \times 1,31}{420}} \right)$$

$$= 0,0032$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,0038 > \rho \text{ min}$$

$$As \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 350 \times 427,50$$

$$= 563,28 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ pakai} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{563,28}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$= 1,99 \text{ buah} = 2 \text{ buah}$$

$$s_{min} 1 = Dtulangan = 19 \text{ mm}$$

$$s_{min} 2 = 25 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$spakai = \frac{b - npakai Dtulangan - 2 \text{ clear cover} - 2 \phi sengkang}{npakai - 1}$$

$$= \frac{350-2(19)-2(50)-2(13)}{2-1}$$

$$= 186 \text{ mm}$$

spakai > smin (OK)

### Kontrol Regangan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{563.28 \times 420}{0,85 \times 40 \times 350} = 19.88 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{19.88}{0.76} = 26.01 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{427.50-26.01}{26.01} = 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}$$

Tulangan lentur lapangan positif didapatkan sebesar 2D19.

- Tulangan Lentur Lapangan Negatif

$$Mu = 0.50 \times M_u \text{ negatif tumpuan}$$

$$\phi = 0,90$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{0.50 \times 7669.57 \times 10^4}{0.90 \times 350 \times 427.50^2} = 0.65 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.65}{420}} \right) = 0.0015$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,0038 > \rho \text{ min}$$

$$As \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d = 0,0038 \times 350 \times 427.50 = 563.28 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ pakai} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{563.28}{\frac{1}{4} \pi 19^2} = 1.99 \text{ buah} = 2 \text{ buah}$$

$$s_{\text{min } 1} = Dtulangan = 19 \text{ mm}$$

$$s_{\text{min } 2} = 25 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$s_{\text{pakai}} = \frac{b - npakai \times Dtulangan - 2 \text{ clear cover} - 2\phi \text{ sengkang}}{npakai - 1} = \frac{350 - 2(19) - 2(50) - 2(13)}{2-1} = 186 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} > s_{\text{min}} \text{ (OK)}$$

### Kontrol Regangan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{563.28 \times 420}{0,85 \times 40 \times 350} = 19.88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{19.88}{0.76} \\
 &= 26.01 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= 0,003 \frac{d-c}{c} \\
 &= 0,003 \frac{427.50-26.01}{26.01} \\
 &= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan lentur lapangan negatif yang didapatkan sebesar 2D19.

○ Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 111243.33 \text{ N} \\
 V_c &= 0,17\sqrt{f'c} \text{ } bd \\
 &= 160872.97 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 120654.73 \text{ N} \\
 0,5\phi V_c &= 60327.36 \text{ N} \\
 V_{s \text{ min}} &= 0,062\sqrt{f'c} \text{ } bd \\
 &= 58671.32 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat Jarak Sengkang

Kondisi 1:

$$V_u \leq 0,5\phi V_c \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Kondisi 2:

$$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \quad (\text{Memenuhi})$$

Tulangan gaya geser sengkang telah memenuhi syarat sesuai kondisi dua sehingga tulangan geser yang diperlukan untuk kondisi balok anak ini, yaitu :

Sengkang yang digunakan adalah sengkang dengan satu kaki.

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \\
 &= 132.73 \text{ mm}^2 \\
 s \text{ pakai} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{132.73 \times 420 \times 427.50}{58671.32} \\
 &= 406.20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2. , spasi maksimum untuk tulangan geser ditentukan berdasarkan nilai  $V_s$ , yaitu :

$$0.33\sqrt{f'c} \text{ } b \times d : 312282.83 \text{ N}$$

Nilai  $V_s$  didapatkan lebih kecil dari  $0.33\sqrt{f'c} \text{ } b \times d$  sehingga spasi maksimum tidak boleh melebihi dari nilai terendah batasan yang telah diatur pada SNI 2847:2019.

$$S_{\text{Min } 1} : d/2 = 213.75 \text{ mm (Dipilih)}$$

$$S_{\text{Min } 2} : 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} : 200 \text{ mm}$$



Tulangan geser balok anak sesudah komposit yang akan digunakan adalah D13-150 mm.

Rekapitulasi perhitungan tulangan balok dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Balok

Jenis Balok	M Tumpuan		M Lapangan		Geser
	Positif	Negatif	Positif	Negatif	
Balok Anak 1	3D19	2D19	2D19	2D19	D13-200
Balok Luivel	2D19	2D19	2D19	2D19	D13-150

#### 4.5 Perencanaan Pelat

1. Menentukan dan menghitung beban-beban yang terjadi pada pelat, seperti beban pelat, spesi, lantai, dan beban gravitasi lainnya.
2. Menentukan kebutuhan tulangan tumpuan dan lapangan yang masing-masing memiliki serat atas dan bawah pada pelat lantai dan pelat atap. Lalu, dilakukan kontrol regangan pada masing-masing penentuan tulangan longitudinal.

##### 4.5.1 Perencanaan Pelat Lantai

###### 4.5.1.1 Pembebanan Pelat Lantai

- Beban Mati ( $q_D$ )
 

Berat Pelat	=	$2400 \times 0.15$	=	$360 \text{ kg/m}^2$
Plafon	=	11	=	$11 \text{ kg/m}^2$
Penggantung	=	7	=	$7 \text{ kg/m}^2$
Ducting	=	30	=	$30 \text{ kg/m}^2$
Keramik	=	24	=	$24 \text{ kg/m}^2$
Spesi (1 cm)	=	21	=	$21 \text{ kg/m}^2$
$q_D$	=	$453 \text{ kg/m}$		
- Beban Hidup ( $q_L$ )
 

$q_L$	=	$192 \text{ kg/m}$
-------	---	--------------------
- Kombinasi Beban ( $q_U$ )
 

$q_U$ pakai	=	$1,2q_D + 1,6q_L$	=	$850.80 \text{ kg/m}$
-------------	---	-------------------	---	-----------------------

###### 4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

- Perhitungan Momen
 

$q_U$ pakai	=	$850.80 \text{ kg/m}$
$L_x$	=	$3.625 \text{ m}$
$L_y$	=	$5.550 \text{ m}$
$\beta$	=	$1.5$

Sehingga, faktor momen pelat untuk 4 sisi terjepit, yaitu :

- |            |   |    |
|------------|---|----|
| Lapangan X | = | 36 |
| Lapangan Y | = | 17 |
| Tumpuan X  | = | 76 |
| Tumpuan Y  | = | 57 |

$$\begin{aligned} M \text{ Lapangan X} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 850.80 \times 3.625^2 \times 36 \\ &= 402.48 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Lapangan Y} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 850.80 \times 3.625^2 \times 17 \\ &= 190.06 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Tumpuan X} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 850.80 \times 3.625^2 \times 76 \\ &= 849.68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Tumpuan Y} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 850.80 \times 3.625^2 \times 57 \\ &= 637.26 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$D \text{ Tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Cover} = 20 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - \left(0.05 \frac{f'c - 28}{7}\right) \\ &= 0.85 - \left(0.05 \frac{40 - 28}{7}\right) \\ &= 0.76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min 1} &= 0.25 \times \frac{\sqrt{f'c}}{420} \\ &= 0.25 \times \frac{\sqrt{40}}{420} \\ &= 0.0038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min 2} &= 1.4 f_y \\ &= 1.4 \times 420 \\ &= 0.0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\ &= \frac{420}{0.85 \times 40} \\ &= 12.35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= t \text{ pelat} - \text{cover} - 0.50 D_{\text{tulangan}} \\ &= 150 - 20 - 0.50(13) \\ &= 123.50 \text{ mm} \end{aligned}$$

○ Tulangan Lapangan X

$$Mu = 402.48 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\ &= \frac{402.48 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2} \\ &= 0.29 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{12.35} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.29}{420}}\right) \\ &= 0.00069 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\text{As perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 1000 \times 123.50$$

$$= 464.93 \text{ mm}^2$$

$$s_{\min 1} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\min 2} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$s_{\text{pakai}} = \frac{As_{\text{Tulangan}} \times b}{As_{\text{Perlu}}}$$

$$= 285.49 \text{ mm}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat lantai lapangan X, yaitu 300 mm – D13.

#### Kontrol Regangan

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{464.93 \times 420}{0,85 \times 40 \times 1000}$$

$$= 5.74 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{5.74}{0.76}$$

$$= 7.51 \text{ mm}$$

$$e_t = 0,003 \frac{d-c}{c}$$

$$= 0,003 \frac{123.50-7.51}{7.51}$$

$$= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}$$

#### ○ Tulangan Lapangan Y

$$M_u = 190.06 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{190.06 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2}$$

$$= 0.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.14}{420}} \right)$$

$$= 0.00032$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} = 0.0038$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 1000 \times 123.50$$

$$= 464.93 \text{ mm}^2$$

$$s_{\min 1} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\min 2} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$s_{\text{pakai}} = \frac{As_{\text{Tulangan}} \times b}{As_{\text{Perlu}}}$$

$$= 285.49 \text{ mm}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat lantai lapangan Y, yaitu 300 mm – D13.

### Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{464.93 \times 420}{0,85 \times 40 \times 1000} \\
 &= 5.74 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{5.74}{0.76} \\
 &= 7.51 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= 0,003 \frac{d-c}{c} \\
 &= 0,003 \frac{123.50-7.51}{7.51} \\
 &= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

### ○ Tulangan Tumpuan X

$$Mu = 849.68 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0,90$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{849.68 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2} \\
 &= 0.61 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.61}{420}} \right) \\
 &= 0.0015
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\begin{aligned}
 As \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0.0038 \times 1000 \times 123.50 \\
 &= 464.93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{min 1}} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\text{min 2}} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{pakai}} &= \frac{As \text{ Tulangan} \times b}{As \text{ Perlu}} \\
 &= 285.49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat lantai tumpuan X, yaitu 300 mm – D13.

### Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{464.93 \times 420}{0,85 \times 40 \times 1000} \\
 &= 5.74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{5.74}{0.76} \\
 &= 7.51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c}$$

$$= 0,003 \frac{123.50 - 7.51}{7.51}$$

$$= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}$$

○ Tulangan Tumpuan Y

$$Mu = 637.26 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0,90$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{637.26 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2}$$

$$= 0.46 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.46}{420}} \right)$$

$$= 0.0011$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$As \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d$$

$$= 0.0038 \times 1000 \times 123.50$$

$$= 464.93 \text{ mm}^2$$

$$s_{min} 1 = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{min} 2 = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$s_{pakai} = \frac{As \text{ Tulangan} \times b}{As \text{ Perlu}}$$

$$= 285.49 \text{ mm}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat lantai tumpuan Y, yaitu 300 mm – D13.

Kontrol Regangan

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{464.93 \times 420}{0.85 \times 40 \times 1000}$$

$$= 5.74 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta 1}$$

$$= \frac{5.74}{0.76}$$

$$= 7.51 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c}$$

$$= 0,003 \frac{123.50 - 7.51}{7.51}$$

$$= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}$$

Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

Jenis Balok	M Tumpuan		M Lapangan	
	X	Y	X	Y
Pelat Lantai S1	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm
Pelat Lantai S2	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm

## 4.5.2 Perencanaan Pelat Atap

### 4.5.2.1 Pembebanan Pelat Atap

- Beban Mati ( $q_D$ )  
Berat Pelat  $= 2400 \times 0.15 = 360 \text{ kg/m}^2$   
Plafon  $= 11 = 11 \text{ kg/m}^2$   
Penggantung  $= 7 = 7 \text{ kg/m}^2$   
Ducting  $= 30 = 30 \text{ kg/m}^2$   
Spesi (1 cm)  $= 21 = 21 \text{ kg/m}^2$   
 $q_D = 429 \text{ kg/m}$
- Beban Hidup ( $q_L$ )  
 $q_L = 96 \text{ kg/m}$
- Kombinasi Beban ( $q_U$ )  
 $q_U \text{ pakai} = 1,2q_D + 1,6q_L = 668.40 \text{ kg/m}$

### 4.5.2.2 Perhitungan Penulangan Pelat Atap

- Perhitungan Momen  
 $q_U \text{ pakai} = 668.40 \text{ kg/m}$   
 $L_x = 3.625 \text{ m}$   
 $L_y = 5.550 \text{ m}$   
 $\beta = 1.5$

Sehingga, faktor momen pelat untuk 4 sisi terjepit, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Lapangan X} &= 36 \\ \text{Lapangan Y} &= 17 \\ \text{Tumpuan X} &= 76 \\ \text{Tumpuan Y} &= 57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Lapangan X} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 668.40 \times 3.625^2 \times 36 \\ &= 316.20 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Lapangan Y} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 668.40 \times 3.625^2 \times 17 \\ &= 149.31 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Tumpuan X} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 668.40 \times 76 \\ &= 667.52 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ Tumpuan Y} &= 0.001 \times q \times Lx^2 \times X \\ &= 0.001 \times 668.40 \times 3.625^2 \times 57 \\ &= 500.64 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D \text{ Tulangan} &= 13 \text{ mm} \\ \text{Cover} &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0.85 - \left( 0.05 \frac{f'c - 28}{7} \right) \\ &= 0.85 - \left( 0.05 \frac{40 - 28}{7} \right) \\ &= 0.76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\min 1} &= 0.25 \times \frac{\sqrt{f'c}}{420} \\
&= 0.25 \times \frac{\sqrt{40}}{420} \\
&= 0.0038 \\
\rho_{\min 2} &= 1.4 f_y \\
&= 1.4 \times 420 \\
&= 0.0033 \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\
&= \frac{420}{0.85 \times 40} \\
&= 12.35 \\
d &= t \text{ pelat} - \text{cover} - 0.50 D \text{ tulangan} \\
&= 150 - 20 - 0.50(13) \\
&= 123.50 \text{ mm}
\end{aligned}$$

○ Tulangan Lapangan X

$$M_u = 316.20 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
&= \frac{316.20 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2} \\
&= 0.23 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.23}{420}} \right) \\
&= 0.00054
\end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\begin{aligned}
A_s \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
&= 0.0038 \times 1000 \times 123.50 \\
&= 464.93 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$s_{\min 1} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\min 2} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$\begin{aligned}
s_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ Tulangan} \times b}{A_s \text{ Perlu}} \\
&= 285.49 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat atap lapangan X, yaitu 300 mm – D13.

Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'c \times b} \\
&= \frac{464.93 \times 420}{0.85 \times 40 \times 1000} \\
&= 5.74 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{5.74}{0.76} \\
&= 7.51 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= 0,003 \frac{d-c}{c} \\ &= 0,003 \frac{123.50-7.51}{7.51} \\ &= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

○ Tulangan Lapangan Y

$$Mu = 149.31 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0,90$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\ &= \frac{149.31 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2} \\ &= 0.11 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.11}{420}} \right) \\ &= 0.00025\end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\begin{aligned}As \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0.0038 \times 1000 \times 123.50 \\ &= 464.93 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$s_{\text{min } 1} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\text{min } 2} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$\begin{aligned}s_{\text{pakai}} &= \frac{As \text{ Tulangan} \times b}{As \text{ Perlu}} \\ &= 285.49 \text{ mm}\end{aligned}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat atap lapangan Y, yaitu 300 mm – D13.

Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}a &= \frac{As \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{464.93 \times 420}{0.85 \times 40 \times 1000} \\ &= 5.74 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{5.74}{0.76} \\ &= 7.51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= 0,003 \frac{d-c}{c} \\ &= 0,003 \frac{123.50-7.51}{7.51} \\ &= 0.046 > 0,005 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

○ Tulangan Tumpuan X

$$Mu = 667.52 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0,90$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\ &= \frac{667.52 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 0.48 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.48}{420}} \right) \\
 &= 0.0011
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0.0038 \times 1000 \times 123.50 \\
 &= 464.93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{min } 1} = 3h = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\text{min } 2} = 450 \text{ mm (Terpilih)}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{pakai}} &= \frac{\text{As Tulangan} \times b}{\text{As Perlu}} \\
 &= 285.49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat atap tumpuan X, yaitu 300 mm – D13.

#### Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{464.93 \times 420}{0.85 \times 40 \times 1000} \\
 &= 5.74 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{5.74}{0.76} \\
 &= 7.51 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= 0.003 \frac{d-c}{c} \\
 &= 0.003 \frac{123.50-7.51}{7.51} \\
 &= 0.046 > 0.005 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

#### ○ Tulangan Tumpuan Y

$$M_u = 500.64 \text{ kgm}$$

$$\phi = 0.90$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{500.64 \times 10^4}{0.90 \times 1000 \times 123.50^2} \\
 &= 0.36 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12.35} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35 \times 0.36}{420}} \right) \\
 &= 0.00086
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \rho \text{ min} = 0.0038$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0.0038 \times 1000 \times 123.50 \\
 &= 464.93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s_{\min 1} &= 3h = 450 \text{ mm} \\
s_{\min 2} &= 450 \text{ mm (Terpilih)} \\
s_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ Tulangan} \times b}{A_s \text{ Perlu}} \\
&= 285.49 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Spasi tulangan yang akan digunakan untuk perencanaan pelat atap tumpuan Y, yaitu 300 mm – D13.

#### Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\
&= \frac{464.93 \times 420}{0.85 \times 40 \times 1000} \\
&= 5.74 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{5.74}{0.76} \\
&= 7.51 \text{ mm} \\
\epsilon_t &= 0.003 \frac{d-c}{c} \\
&= 0.003 \frac{123.50 - 7.51}{7.51} \\
&= 0.046 > 0.005 \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat atap dengan berbagai bentang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Pelat Atap

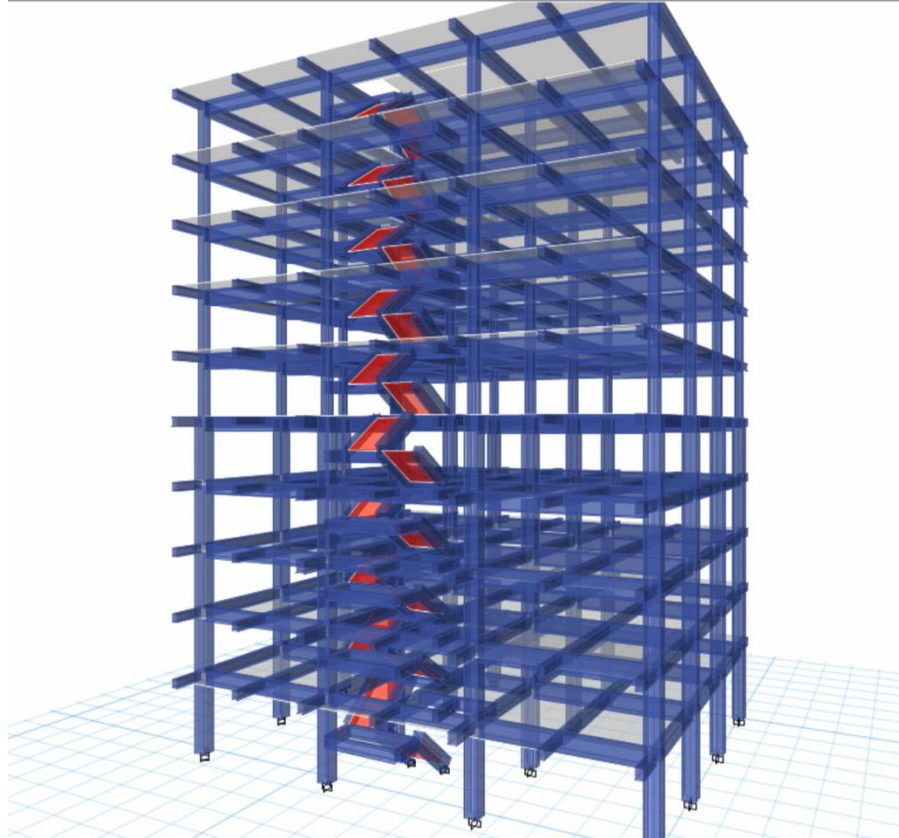
Jenis Balok	M Tumpuan		M Lapangan	
	X	Y	X	Y
Pelat Lantai S1	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm
Pelat Lantai S2	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm	D13-300 mm

## **BAB V**

### **PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR**

#### **5.1 Alur Pemodelan Struktur dan Analisis Struktur**

1. Menghitung pembebanan struktur, yaitu beban gravitasi (hidup dan mati) serta beban hujan berdasarkan SNI 1727:2019 dan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019.
2. Memodelkan struktur pada ETABS dan menginput semua jenis beban.



Gambar 5.1 Tampak 3D Pemodelan Gedung pada Program ETABS

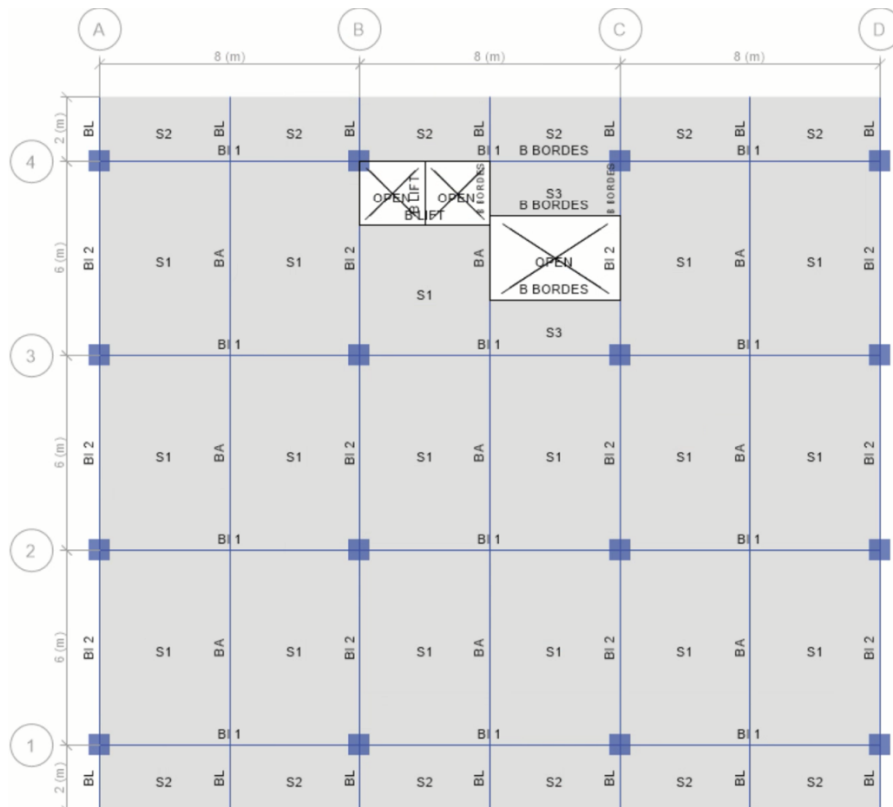
3. Menganalisis dan mengontrol struktur yang telah dimodelkan pada ETABS yang disesuaikan pada persyaratan yang ditetapkan oleh SNI 1726:2019.

#### **5.2 Pembebanan Struktur**

##### **5.2.1 Pembebanan Gravitasi**

###### **5.2.1.1 Beban Mati**

Beban mati struktur pada tugas pengganti kerja praktik ini mengacu berdasarkan PPIUG 1983. Rekapitulasi beban mati struktur dilampirkan per lantai dan dibagi menjadi 3 jenis, yaitu beban mati struktur lantai 1—5 pada tabel 5.1., beban mati struktur lantai 6—10 pada tabel 5.2., dan beban mati atap pada tabel 5.3.



Gambar 5.2 Pemodelan Denah Gedung pada Program ETABS

Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 1

No.	Keterangan	Lebar	Tinggi	Panjang	Berat Jenis	Beban	Berat
		(m)	(m)	(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg)
1	BI 1	0,55	0,75	96	2400		67392
2	BI 2	0,5	0,65	72	2400		38016
3	BA 1	0,35	0,55	54	2400		24948
4	BL	0,3	0,4	6	2400		1728
5	Balok Lift	0,35	0,55	6	2400		2772
6	Balok Bordes	0,35	0,55	8	2400		3696
7	Plat Lantai + Bordes + Luivel	0,15		508	2400		182880
8	Plat Anak Tangga	0,15		54,49	2400		19616,4
9	Spesi (1 cm)			508		21	10668
10	Plafon			508		11	5588
11	Penggantung			508		7	3556
12	Ducting dan Plumbing			508		30	15240
13	K1	0,75	4,3	0,65	2400		4360,2
14	Dinding	222	4,3			230	219558
15	Ubin			508		24	12192
Beban Mati Lantai 1							612210,6

Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 2—5

No.	Keterangan	Lebar	Tinggi	Panjang	Berat Jenis	Beban	Berat
		(m)	(m)	(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg)
1	BI 1	0,55	0,75	96	2400		67392
2	BI 2	0,5	0,65	72	2400		38016
3	BA 1	0,35	0,55	54	2400		24948
4	BL	0,3	0,4	16	2400		4608
5	Balok Lift	0,35	0,55	6	2400		
6	Balok Bordes	0,35	0,55	8	2400		
7	Plat Lantai + Bordes	0,15		508	2400		182880
8	Plat Anak Tangga	0,15		46,89	2400		
9	Spesi (1 cm)			508		21	10668
10	Plafon			508		11	5588
11	Penggantung			508		7	3556
12	Ducting dan Plumbing			508		30	15240
13	K1	0,75	3,3	0,65	2400		3346,2
14	Dinding	222	3,3			230	168498
15	Ubin			508		24	12192
Beban Mati Lantai 2-5							536932,2

Tabel 5.3 Rekapitulasi Beban Mati Lantai 6—9

No.	Keterangan	Lebar	Tinggi	Panjang	Berat Jenis	Beban	Berat
		(m)	(m)	(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg)
1	BI 1	0,55	0,75	96	2400		67392
2	BI 2	0,5	0,65	72	2400		38016
3	BA 1	0,35	0,55	54	2400		24948
4	BL	0,3	0,4	16	2400		4608
5	Balok Lift	0,35	0,55	6	2400		2772
6	Balok Bordes	0,35	0,55	8	2400		3696
7	Plat Lantai + Bordes	0,15		508	2400		182880
8	Plat Anak Tangga	0,15		46,89	2400		16880,4
9	Spesi (1 cm)			508		21	10668
10	Plafon			508		11	5588
11	Penggantung			508		7	3556
12	Ducting dan Plumbing			508		30	15240
13	K2	0,55	3,3	0,45	2400		1603,8
14	Dinding	222	3,3			230	168498
15	Ubin			508		24	12192
Beban Mati Lantai 6-9							558538,2

Tabel 5.4 Rekapitulasi Beban Mati Lantai Atap

No.	Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1	BI 1	0,55	0,75	96	2400		67392
2	BI 2	0,5	0,65	72	2400		38016
3	BA 1	0,35	0,55	54	2400		24948
4	BL	0,3	0,4	16	2400		4608
5	Balok Lift	0,35	0,55	6	2400		2772
6	Balok Bordes	0,35	0,55	8	2400		3696
7	Plat Lantai + Bordes	0,15		508	2400		182880
8	Plat Anak Tangga	0,15		46,89	2400		16880,4
9	Spesi (1 cm)			508		21	10668
10	Plafon			508		11	5588
11	Penggantung			508		7	3556
12	Ducting dan Plumbing			508		30	15240
13	K2	0,55	3,3	0,45	2400		1603,8
14	Dinding	222	3,3			230	168498
Beban Mati Atap							546346,2

### 5.2.1.2 Beban Hidup

Beban hidup struktur pada tugas pengganti kerja praktik ini mengacu berdasarkan SNI 1727:2019. Rekapitulasi beban hidup struktur dilampirkan menjadi 2 jenis, yaitu beban hidup struktur lantai 1—10 pada tabel 5.4. dan beban hidup atap pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Beban Hidup Bangunan

No.	Keterangan	Luas (m)	Beban (kg/m <sup>2</sup> )	Berat (kg)
1	Lantai 1—9	508	192	97536
2	Lantai Atap	508	96	48768
3	Tangga + Pegangan (Lantai Dasar)	54,49	529	28825,21
4	Tangga + Pegangan (Lantai 2-10)	46,89	529	24804,81
Beban Hidup Bangunan				146304

### 5.2.2 Beban Hujan

Beban hujan struktur akan direncanakan berdasarkan SNI 1727:2019 pasal 8.3. tentang beban desain hujan. Pada tugas akhir ini diasumsikan nilai tinggi air  $d_s$  dan  $d_h$  sebesar 50 mm.

$$R = 0,0098 (d_s + d_h) = 0,0098 (50 + 50)$$

$$R = 0,99 \text{ kN/m}^2 \approx 10 \text{ kg/m}^2$$

### 5.2.3 Beban Gempa

Beban gempa yang akan digunakan dalam perhitungan tugas pengganti kerja praktik ini mengacu berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

### 5.2.3.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa dipilih berdasarkan jenis dan fungsi gedung yang akan direncanakan. Pada tugas pengganti kerja praktik ini, gedung yang direncanakan adalah gedung pertokoan. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 4, gedung pertokoan dikategorikan pada kategori risiko II dengan nilai faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar 1.

### 5.2.3.2 Kelas Situs

Penentuan kelas situs didapatkan berdasarkan hasil pencarian melalui website resmi Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Surabaya yang menyebutkan sebagian besar tanah Kota Surabaya adalah tanah aluvial atau tanah lempung. Tanah lempung dikategorikan pada golongan kelas situs SE.

### 5.2.3.3 Parameter Respons Spektral

Data respons spektral didapatkan dari langkah-langkah perhitungan yang disesuaikan berdasarkan SNI 1726:2019. Pada tugas pengganti kerja praktik ini, gedung yang direncanakan berada di wilayah Surabaya, Jawa Timur. Berdasarkan lokasi gedung, nilai  $S_s$  yang ditentukan sesuai SNI 1726:2019 Gambar 15, didapatkan sebesar 0.750, sedangkan nilai  $S_1$  yang ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 Gambar 16, diperoleh sebesar 0.350. Rekapitulasi data respons spektral disajikan pada Tabel 5.6.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_I$					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8

Gambar 5.3 Tabel Koefisien  $F_a$  dan  $F_v$   
Sumber: SNI 1729 Tabel 7 dan Tabel 8

Tabel 5.6 Data Respons Spektral

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
$S_s$	= 0,75	$S_{M1}$	= $F_v S_1 = (2,6)(0,35) = 0,910$
$S_1$	= 0,35	$S_{DS}$	= $\frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} (0,975) = 0,650$
$F_a$	= 1,3	$S_{D1}$	= $\frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} (0,975) = 0,606$
$F_v$	= 2,6	$T_0$	= $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,606}{0,65} = 0,186$
$S_{MS}$	= $F_a S_s = (1,3)(0,75) = 0,975$	$T_s$	= $\frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,606}{0,65} = 0,933$

### 5.2.3.4 Parameter Struktur

Nilai parameter struktur untuk rangka beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus maka didapatkan nilai parameter struktur yaitu:

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>*</sup>	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Gambar 5.4 Tabel Koefisien dan Faktor Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sumber: SNI 1729 Tabel 12

### 5.2.3.5 Kategori Desain Seismik

Pada tugas pengganti kerja praktik ini, gedung apartemen yang direncanakan termasuk pada kategori risiko bangunan IV dengan nilai  $S_{DS} \geq 0.5$  dan  $S_{D1} \geq 0.2$  sehingga kategori desain seismik gedung ini, yaitu kategori D.

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Gambar 5.5 Tabel Kategori Desain Seismik berdasarkan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$

Sumber: SNI 1729 Tabel 8 dan Tabel 9

### 5.2.3.6 Respon Spektrum Desain

Respon spektrum desain dihitung berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 6.4. Rekapitulasi hasil perhitungan respon spektrum desain setiap periode tertera pada Tabel 5.7. Nilai respon spektrum yang telah didapatkan harus dikalikan dengan *scale factor* yang besarnya:

$$SF = g \frac{I_e}{R} = \frac{9,81(1)}{8} = 1,23$$

Dimana:

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s)

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa berdasarkan kategori resiko gempa

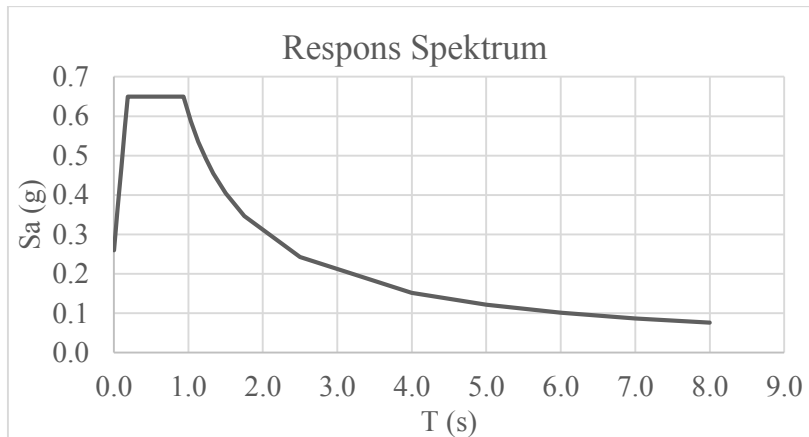
$R$  = Koefisien modifikasi respon

Tabel 5.7 Respon Spektrum Desain

Variabel	T	Sa	Variabel	T	Sa
$T < T_0$	0.000	0.260	$T > T_s$	1.333	0.455
$T < T_0$	0.050	0.364	$T > T_s$	1.500	0.404
$T < T_0$	0.100	0.469	$T > T_s$	1.750	0.347
$T < T_0$	0.150	0.573	$T > T_s$	2.500	0.243
$T_0$	0.187	0.650	$T > T_s$	4.000	0.152
$T_0 \geq T \geq T_0$	0.287	0.650	$T > T_s$	5.000	0.121
$T_s$	0.933	0.650	$T > T_s$	6.000	0.101
$T > T_s$	1.033	0.587	$T > T_s$	7.000	0.087
$T > T_s$	1.133	0.535	$T > T_s$	8.000	0.076

Berdasarkan perhitungan respons spektrum desain setiap periode yang tertera pada tabel 5.7., grafik respon spektrum desain yang dihasilkan yaitu ditunjukkan sesuai pada gambar 5.1.





Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum Desain

### 5.2.3.7 Arah Pembebanan

Beban gempa pada permodelan struktur tugas pengganti kerja praktik ini direncanakan dengan asumsi pada masing-masing arah sumbu X dan arah sumbu Y yang memiliki persentase 100% pengaruh untuk arah sumbu utama dan 30% pengaruh untuk sumbu yang memiliki arah tegak lurus terhadap arah sumbu utama.

### 5.2.3.8 Berat Total Bangunan

Berat dari beban bangunan merupakan total dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri material-material konstruksi dan elemen-elemen struktur, serta beban hidup berasal dari penggunaan fungsi bangunan. Berat bangunan tersaji dalam Tabel 5.x.

Tabel 5.8 Berat Bangunan Hasil Program ETABS

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	CaseType	GlobalFY	GlobalFZ
		kgf	kgf
Beban Mati	Combination	0	3647628,89
Beban Mati Tambahan	Combination	0	2245358,89
Beban Hidup	Combination	0	1020715,99

Tabel 5.9 Berat Bangunan Perhitungan Manual

Lantai	Berat (kg)		
	Beban Mati + Mati Tambahan	Beban Hidup	Total
1	612210,6	126361,21	738571,81
2	536932,2	122340,81	659273,01
3	536932,2	122340,81	659273,01
4	536932,2	122340,81	659273,01
5	536932,2	122340,81	659273,01
6	558538,2	122340,81	680879,01
7	558538,2	122340,81	680879,01
8	558538,2	122340,81	680879,01
9	558538,2	122340,81	680879,01
Atap	546346,2	73572,81	619919,01
Jumlah			6719098,9

Dari hasil analisa ETABS didapatkan total berat bangunan sebesar:

- $W_{mati} + W_{mati\ tambahan} + W_{hidup}$   
 $3647628 + 2245358 + 1020715 = 6913703,7\ kg$

Dengan maksimal selisih 5% dari hasil perhitungan manual dibandingkan dengan perhitungan ETABS, sebagai berikut:

Selisih perhitungan antara manual dan ETABS:

- $\Delta_w = W_{total\ manual} - W_{total\ ETABS}$   
 $\Delta_w = 6719098,9 - 6913703,77 = 194604,87\ kg$
- $\Delta = \frac{\Delta_w}{W_{total\ manual}} \times 100\%$   
 $\Delta = \frac{194604,872}{6719098,9} \times 100\%$
- $\Delta = 2,896\% \leq \Delta_{kontrol} = 5\% \rightarrow OK$

Maka pemodelan bangunan dianggap mendekati bangunan aslinya.

### 5.2.3.9 Kombinasi Pembebanan

Setelah memperhitungkan beban akibat gempa dan gravitasi, maka seluruh beban tersebut dihitung dengan faktor kombinasi yang mengacu pada SNI-1726-2019 sebagai berikut:

$$S_{DS} = 0,65g$$

$$\rho = 1$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D = 1,33D$$

$$(0,9 - 0,2S_{DS})D = 0,77D$$

1.  $1.4\ D$
2.  $1,2\ D + 1,6\ L + 0,5\ (L_r\ \text{atau}\ R)$
3.  $1,2\ D + 1,6\ (L_r\ \text{atau}\ R) + (1,0\ L\ \text{atau}\ 0,5\ W)$
4.  $1,33\ D + 1,0\ L \pm 1,0\ EQ_x \pm 0,3\ EQ_y$
5.  $1,33\ D + 1,0\ L \pm 0,3\ EQ_x \pm 1,0\ EQ_y$
6.  $0,77\ D \pm 1,0\ EQ_x \pm 0,3\ EQ_y$
7.  $0,77\ D \pm 0,3\ EQ_x \pm 1,0\ EQ_y$

Keterangan:

$D$	=	Beban	mati
$L$	=	Beban	hidup
$EQ_x$	=	Beban gempa yang dinyatakan dalam arah x	
$EQ_y$	=	Beban gempa yang dinyatakan dalam arah y	
$W$	=	Beban angin	
$L_r$	=	Beban hidup atap	
$R$	=	Beban hidup hujan	

### 5.3 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETABS, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol waktu getar alami fundamental
- Kontrol nilai akhir respon spektrum
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

### 5.3.1 Kontrol Partisipasi Massa

Perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikianya agar partisipasi massa terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa asli dari masing-masing arah. Karenanya digunakan bantuan program ETABS untuk mengeluarkan partisipasi massa seperti Gambar 5.7 berikut ini

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	1.795	0	0.8308
Modal	2	1.701	0.8273	0.8308
Modal	3	0.685	0.8273	0.9588
Modal	4	0.656	0.9586	0.9588
Modal	5	0.394	0.9586	0.9804
Modal	6	0.379	0.9799	0.9804
Modal	7	0.288	0.9799	0.9932
Modal	8	0.275	0.9929	0.9932
Modal	9	0.223	0.9929	0.9974
Modal	10	0.215	0.9973	0.9974
Modal	11	0.16	0.9973	1
Modal	12	0.153	1	1

Gambar 5.7 Tabel Output ETABS Rasio Partisipasi Massa

Dari Gambar di atas didapat partisipasi massa untuk arah X sebesar 95,86% pada modal ke 4 dan partisipasi massa arah Y sebesar 95,88% pada modal ke 3. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-1726-2019 pasal 7.9.1.

	Case	Item Type	Item	Static %	Dynamic %
	Modal	Acceleration	UX	100	100
	Modal	Acceleration	UY	100	100
►	Modal	Acceleration	UZ	0	0

Gambar 5.8 Tabel Output ETABS Prosentase Partisipasi Beban Gempa Statik dan Dinamik

### 5.3.2 Kontrol Waktu Getar Alami

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental ( $T$ ) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI-1726-2019, periode fundamental struktur harus ditentukan dari  $T_a = C_t h_n$ . Nilai  $T_a$  adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai  $S_{D1}$ .

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Gambar 5.9 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$   
 Sumber: SNI 1729 Tabel 18

- Menghitung Periode Fundamental Perkiraan :  
 $h_n = 34 \text{ m}$   
 $T_a = C_t h_n = 0,0466 \times 34^{0,9} = 1,113 \text{ s}$   
 $C_u = 1,4$  (Tabel 14 SNI-1726-2019)
- Menghitung Batas Atas Periode Struktur  
 $C_u T_a = 1,4 \times 1,113 = 1,559 \text{ s}$

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.9.4.1, Periode fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan:

- Jika  $T_c > C_u T_a$  maka digunakan  $T_c = C_u T_a$
- Jika  $T_a < C_u < C_u T_a$  maka digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

Dari hasil analisa program bantu ETABS maka didapat  $T_c = 1,795 \text{ s}$ ,  $T_a = 1,113 \text{ s}$ ,  $C_u T_a = 1,559 \text{ s}$  karena  $T_c > C_u T_a$  maka periode fundamental struktur yang digunakan adalah  $T_c = C_u T_a = 1,559 \text{ s}$

### 5.3.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respon statik.

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$
- $C_s = \frac{0,65}{8/1} = 0,0813$

Nilai  $C_s$  tidak perlu diambil lebih besar dari:

- $C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,606}{1,559 \left( \frac{8}{1} \right)} = 0,0486$
- $C_{s2} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$
- $C_{s2} = 0,044(0,65)(1) = 0,0286 \geq 0,01 \rightarrow C_{s2} = 0,0286$
- Kontrol:  
 $C_s \leq C_{s1} = 0,0813 > 0,0486 \rightarrow$  digunakan  $C_s = 0,0486$   
 $C_s \geq C_{s2} = 0,0813 \geq 0,0286 \rightarrow$  digunakan  $C_s = 0,0813$

Dari kedua hasil perhitungan diatas, apabila digunakan  $C_s = 0,0813$  maka kontrol 1 tidak OK. Sehingga digunakan  $C_s = 0,0486 \text{ s}$

### 5.3.4 Kontrol Akhir Base Reaction

Pada analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung 6913703,77 kg. Maka:

- $V_{statik} = C_s W$   
 $V_{statik} = (0,0486)(6913703,77) = 336006 \text{ kg}$

Pada analisis ETABS didapatkan nilai gaya geser (*base shear*)

	Load Case/Combo	FX kN	FY kN
	Seismic X 1	-5483.2823	0
	Seismic X 2	-5483.2823	0
►	Seismic X 3	-5483.2823	0
	Seismic Y 1	0	-5483.2823
	Seismic Y 2	0	-5483.2823
	Seismic Y 3	0	-5483.2823
	RSP X Max	2614.1289	1.319E-05
	RSP Y Max	1.309E-05	2500.9241

Gambar 5.10 Output ETABS Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Sebelum Dikali Faktor

Selanjutnya dilakukan kontrol untuk arah X dan Y:

1. Untuk gempa arah X

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{statik}$$

$$2614,13 \geq 85\% (5483,28)$$

$$2614,13 \text{ kN} < 4660,78 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK}$$

2. Untuk gempa arah Y

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{statik}$$

$$2500,92 \geq 85\% (5483,28)$$

$$2500,92 \text{ kN} < 4660,78 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK}$$

Dari hasil kontrol gempa arah X dan Y masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Menurut Pasal 11.1.4 SNI 1726:2019 pasal 7.9.4.2 dijelaskan jika gaya geser dasar hasil analisi kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala arah X dan Y sebagai berikut:

1. Gempa arah X

$$Faktor = \frac{85\% V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{4660,78}{2614,13} = 1,84$$

$$U_1 = g \left( \frac{I_e}{R} \right) 1,84 = 9,81 \left( \frac{1}{8} \right) 1,84 = 2,256$$

$$U_2 = 30\% g \left( \frac{I_e}{R} \right) 1,84 = 0,9,81 \left( \frac{1}{8} \right) 1,84 = 0,3 (9,81) \left( \frac{1}{8} \right) 1,84 = 0,677$$

2. Gempa arah Y

$$Faktor = \frac{85\% V_{statik}}{V_{dinamik}} = \frac{4660,78}{2500,92} = 2,38$$

$$U_1 = g \left( \frac{I_e}{R} \right) 2,38 = 9,81 \left( \frac{1}{8} \right) 2,38 = 2,92$$

$$U_2 = 30\% g \left( \frac{I_e}{R} \right) 2,38 = 0,3 (9,81) \left( \frac{1}{8} \right) 2,38 = 0,876$$

Setelah mendapatkan faktor skala, maka dimasukkan kembali faktor U1 dan U2 arah X dan Y, lalu di running ulang maka didapatkan gaya seperti pada Gambar 5.7

	Load Case/Combo	FX kN	FY kN
	Seismic X 1	-5483.2823	0
	Seismic X 2	-5483.2823	0
	Seismic X 3	-5483.2823	0
►	Seismic Y 1	0	-5483.2823
	Seismic Y 2	0	-5483.2823
	Seismic Y 3	0	-5483.2823
	RSP X Max	4660.7896	2.351E-05
	RSP Y Max	2.44E-05	4660.7898

Gambar 5.11 Output ETABS Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikali Faktor

Dilakukan kontrol ulang terhadap gempa arah X dan Y sebagai berikut:

- Untuk gempa arah X  
 $V_{dinamik} \geq 85\% V_{statik}$   
 $4660,78 \geq 85\% (5483,28)$   
 $4660,78 \text{ kN} < 4660,78 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK}$
- Untuk gempa arah Y  
 $V_{dinamik} \geq 85\% V_{statik}$   
 $4660,78 \geq 85\% (5483,28)$   
 $4660,78 \text{ kN} < 4660,78 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK}$

Dari hasil kontrol diatas didapatkan bahwa analisis struktur memenuhi syarat SNI 1726:2019 Pasal 7.8.

### 5.3.5 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Berdasarkan SNI-1726-2019 Pasal 7.8.6 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Dimana :

$\delta_{xe}$  = Defleksi pada lantai ke x yang ditentukan dengan analisis elastis

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$I_e$  = Faktor keutamaan gedung

$\Delta_a$  = Simpangan ijin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Gambar 5.12 Tabel Simpangan Antar Tingkat Ijin

Sumber: SNI 1729 Tabel 20

Besar simpangan ijin lantai tingkat paling bawah:

- $h_{sx} = 4,3 \text{ m}$
- $\Delta_a = 0,020 h_{sx} = 0,020(4,3) = 0,086 \text{ m}$

Besar simpangan ijin lantai tipikal:

- $h_{sx} = 3,3 \text{ m}$

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx} = 0,020(3,3) = 0,066 \text{ m}$$

Contoh perhitungan simpangan akibat gempa arah x pada lantai 10:

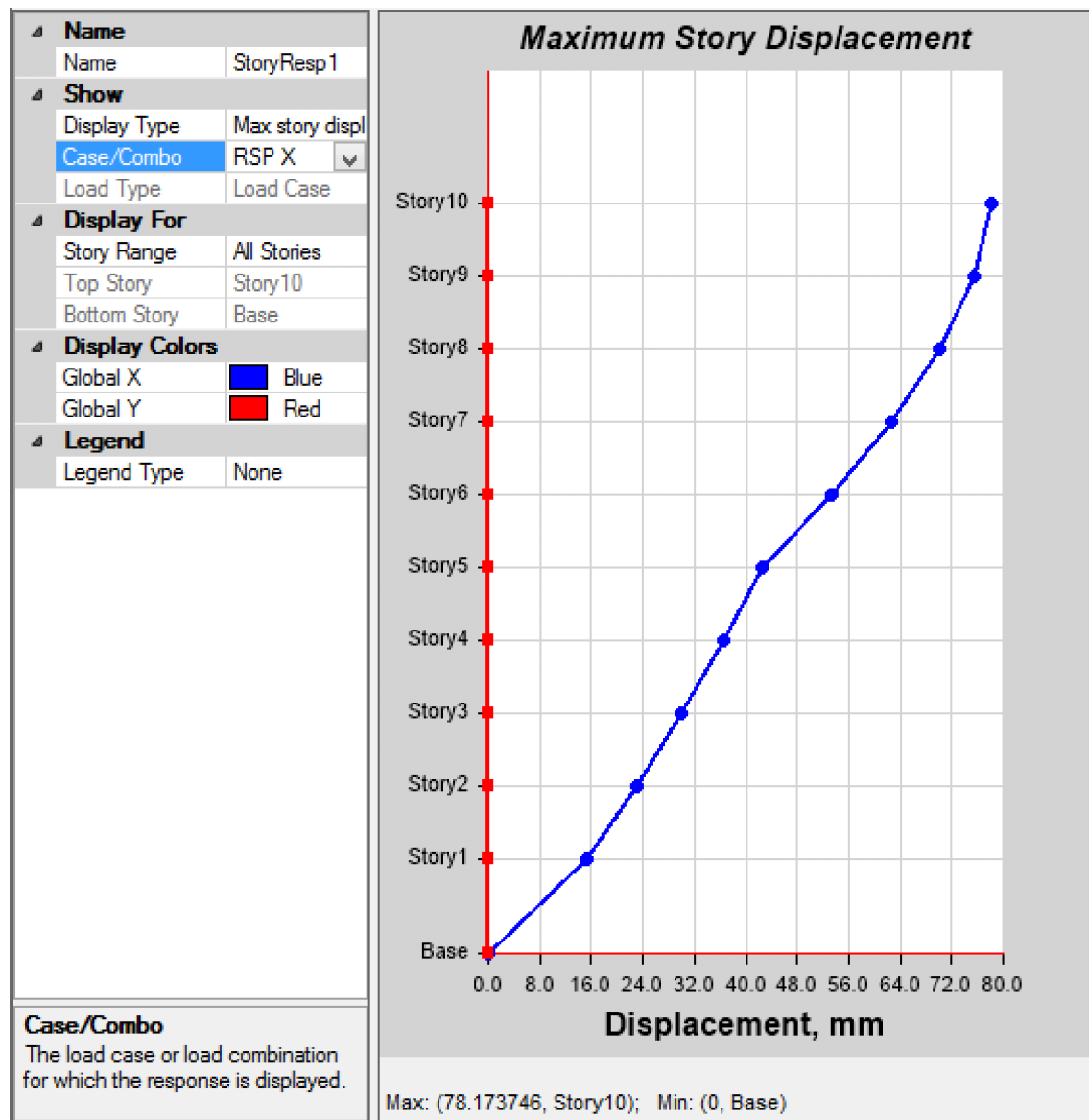
- $C_d = 5,5$
- $I_e = 1,0$
- $\delta_{xe_{atas}} = 0,05277 \text{ m}$
- $\delta_{xe_{bawah}} = 0,0489 \text{ m}$
- $\delta_{x_{atas}} = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} = \frac{(5,5)(0,05277)}{(1)} = 0,2902 \text{ m}$
- $\delta_{x_{bawah}} = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} = \frac{(5,5)(0,0489)}{(1)} = 0,2689 \text{ m}$
- $\Delta_a = \delta_{x_{atas}} - \delta_{x_{bawah}} = 0,2902 - 0,2689 = 0,0213 \text{ m}$
- $\Delta = 0,0213 \text{ m} < \Delta_a = 0,066 \text{ m} \rightarrow OK$

Tabel 5.10 Defleksi Tiap Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah X

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		m	m
Story10	34	Top	0,0527714	0,006515
Story9	30,7	Top	0,0489714	0,005865
Story8	27,4	Top	0,0444714	0,005215
Story7	24,1	Top	0,0391714	0,004565
Story6	20,8	Top	0,0342714	0,003915
Story5	17,5	Top	0,0285714	0,003265
Story4	14,2	Top	0,0221714	0,002615
Story3	10,9	Top	0,0186714	0,001965
Story2	7,6	Top	0,0131714	0,001315
Story1	4,3	Top	0,0071714	0,000665
Base	0	Top	0	0

Tabel 5.11 Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	$\delta_{xe}$	$\delta_x$	$\Delta_x$	$h_{sx}$	$\Delta_a$	
	m	m	m	m	m	m
10	0,0452	0,226	0,018	3,3	0,066	OK
9	0,0417	0,209	0,020	3,3	0,066	OK
8	0,0377	0,189	0,025	3,3	0,066	OK
7	0,0327	0,164	0,023	3,3	0,066	OK
6	0,0282	0,141	0,028	3,3	0,066	OK
5	0,0227	0,114	0,030	3,3	0,066	OK
4	0,0167	0,084	0,015	3,3	0,066	OK
3	0,0137	0,069	0,025	3,3	0,066	OK
2	0,0087	0,044	0,033	3,3	0,066	OK
1	0,0022	0,011	0,011	4,3	0,086	OK



Gambar 5.13 Hasil *Output* ETABS Kurva Simpangan Akibat Beban Gempa Arah X

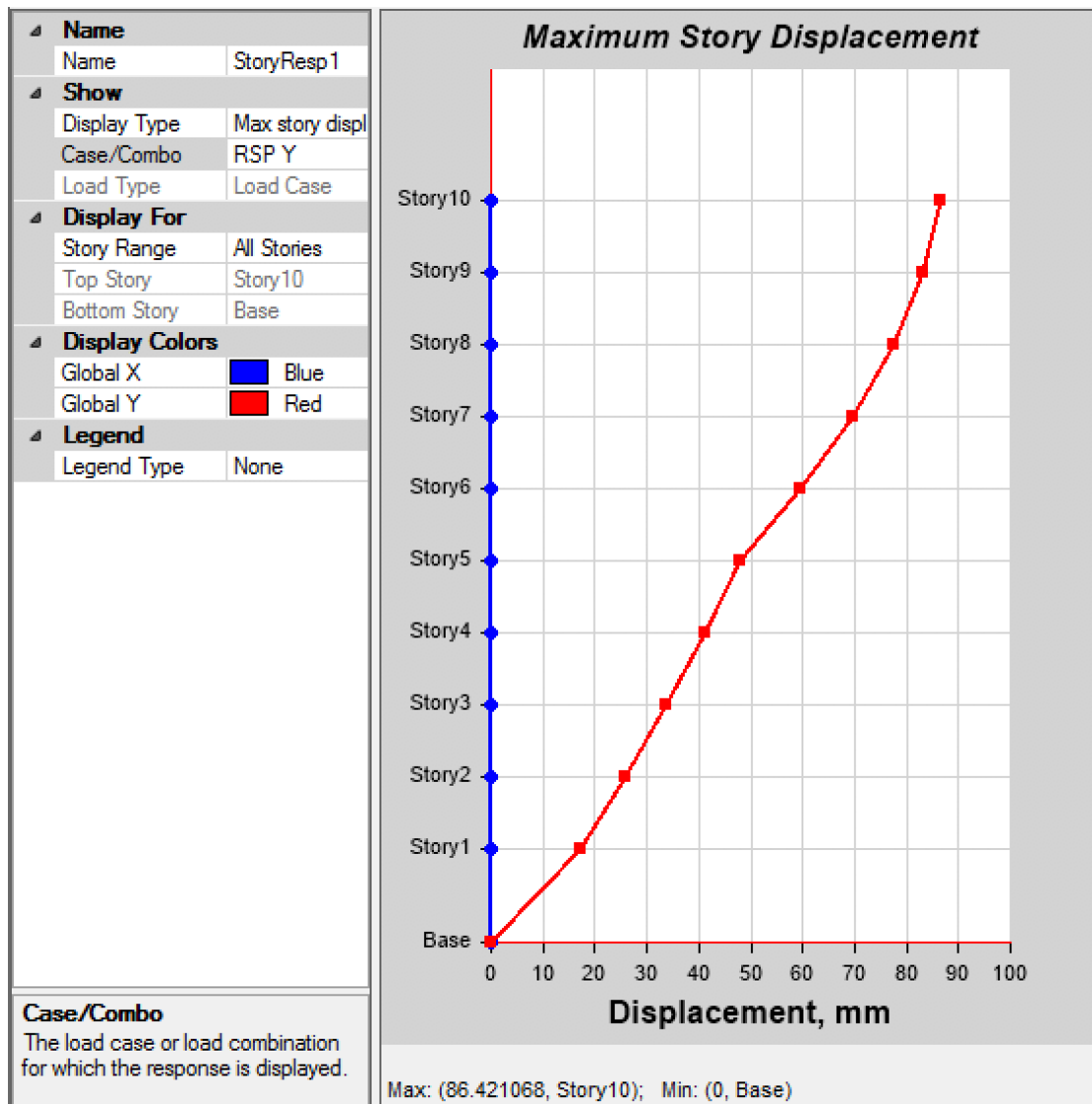
Tabel 5.12 Defleksi Tiap Lantai Akibat Beban Gempa Respon Spektrum Arah Y

TABLE: Story Response Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		m	m
Story10	34	Top	0,0060584	0,0452084
Story9	30,7	Top	0,0054084	0,0417084
Story8	27,4	Top	0,0047584	0,0377084
Story7	24,1	Top	0,0041084	0,0327084
Story6	20,8	Top	0,0034584	0,0282084
Story5	17,5	Top	0,0028084	0,0227084
Story4	14,2	Top	0,0021584	0,0167084
Story3	10,9	Top	0,0015084	0,0137084
Story2	7,6	Top	0,0008584	0,0087084
Story1	4,3	Top	0,0002084	0,0022084



Tabel 5.13 Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah –Y

Lantai	$\delta_{xe}$	$\delta_x$	$\Delta_x$	$h_{sx}$	$\Delta_a$	
	m	m	m	m	m	m
10	0,0528	0,264	0,019	3,3	0,066	<b>OK</b>
9	0,0490	0,245	0,023	3,3	0,066	<b>OK</b>
8	0,0445	0,222	0,027	3,3	0,066	<b>OK</b>
7	0,0392	0,196	0,025	3,3	0,066	<b>OK</b>
6	0,0343	0,171	0,029	3,3	0,066	<b>OK</b>
5	0,0286	0,143	0,032	3,3	0,066	<b>OK</b>
4	0,0222	0,111	0,018	3,3	0,066	<b>OK</b>
3	0,0187	0,093	0,028	3,3	0,066	<b>OK</b>
2	0,0132	0,066	0,030	3,3	0,066	<b>OK</b>
1	0,0072	0,036	0,036	4,3	0,086	<b>OK</b>

Gambar 5.14 Hasil *Output* ETABS Kurva Simpangan Akibat Beban Gempa Arah X

## BAB VI

### PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

#### 6.1 Balok

##### 6.1.1 Balok BI 1

##### A. Hasil Program Bantu

Dari ETABS didapatkan momen, tegangan geser dan momen torsi akibat beban terfaktor yaitu:



Gambar 6.1 Diagram Momen, Geser dan Torsi Balok Induk Tipe BI 1

- $M_u^+ = 617,57 \text{ kN.m}$
- $M_u^- = 907,58 \text{ kN.m}$
- $V_u = 365,79 \text{ kN.m}$
- $T_u = 27,864 \text{ kN.m}$

##### B. Data Perencanaan Balok BI 1:

- $L = 8000 \text{ mm}$
  - $b = 550 \text{ mm}$
  - $h = 750 \text{ mm}$
  - $cover = 50 \text{ mm}$
  - $f'_c = 40 \text{ MPa}$
  - $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$
- (SNI 2847-2019, Tabel 20.6.1.3.1)  
(SNI 2847-2019, Ps.19.2.2.1)  
(SNI 2847-2019, Ps. 19.2.2.1.b)

- $E_c = 4700\sqrt{40} = 30351,54 \text{ MPa}$
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$  (SNI 2847-2019, Ps.22.2.2.4.3)
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(40-28)}{7} = 0,76$
- $\lambda = 1$  (*Beton Normal*) (SNI 2847-2019, Tabel.19.2.4.2)

### C. Tulangan Lapangan Perlu

#### 1. Tulangan Lentur Atas :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,07 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_u = 525 \text{ MPa}$
- $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
- $n = 2 \text{ buah}$
- $A'_s = 982,142 \text{ mm}^2$

#### - Cek Luas Tulangan Minimum:

- $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)
- $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{420} (450)(574,5) = 910,39 \text{ mm}^2$
- $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)
- $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{420} (450)(574,5) = 861,75 \text{ mm}^2$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$
- Cek Rasio Tulangan Maksimum:
- $\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)
- Maka  $A_{s \max} = 0,025 b_w d$
- $A_{s \max} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$
- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 < A_{s \max} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

#### 2. Tulangan Lentur Bawah :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,071 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_u = 525 \text{ MPa}$
- $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
- $n = 3 \text{ buah}$
- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2$

- Cek Luas Tulangan Susut dan Suhu Minimum:

- $$A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b_w d \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2})$$

$$A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{420} (450)(574,5)$$

$$A_{s \min 3} = 465,345 \text{ mm}^2$$

- $$A_{s \min 4} = 0,0014 b_w d \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2})$$

$$A_{s \min 4} = 0,0014(450)(574,5) = 361,935$$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2$

- $$A'_s = 982,142 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$$

- Cek Rasio Tulangan Maksimum:

- $$\rho_{max} = 0,025 \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1})$$

Maka  $A_{s maks} = 0,025 b_w d$

- $$A_{s maks} = 0,025(450)(574,5)$$

- $$A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2$$

- $$A'_s = 982,142 \text{ mm}^2 < A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$$

### 3. Tulangan Longitudinal Torsi :

- $$\theta = 45^0 \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.2})$$

- $$T_u = 4153,12 \text{ kg.m} \approx 423355,76 \text{ N.mm}$$

- $$T_n = \frac{\phi T_u}{\phi} = \frac{423355,76}{0,8} = 52994,7 \text{ N.mm}$$

- $$A_g = b h = (450)(650) = 292500 \text{ mm}^2$$

- $$A_{cp} = A_g = 292500 \text{ mm}^2$$

- $$A_{oh} = A_{cp} = 292500 \text{ mm}^2$$

- $$P_{cp} = 2(b + h) = 2(450 + 650) = 2200 \text{ mm}$$

- $$A_o = 0,85 A_{oh} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.1})$$

- $$A_o = 0,85(292500) = 248625 \text{ mm}^2$$

- $$p_h = \left(b - 2c - 2\frac{D}{2}\right) + \left(h - 2c - 2\frac{D}{2}\right)$$

- $$p_h = \left(450 - 2(50) - 2\frac{(25)}{2}\right) + \left(650 - 2(50) - 2\frac{(25)}{2}\right)$$

- $$p_h = 170625 \text{ mm}$$

- $$A_l = \frac{T_n p_h}{2 A_o f_y \cot \theta} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1})$$

- $$A_l = \frac{(52994,7)(170625)}{2(248625)(420) \cot(45^0)} = 0,216 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Luas Tulangan Longitudinal Torsi :

$$0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 18.7.4.2})$$

$$0,01 (292500) < 43,96 < 0,06 (292500)$$

$$2925 \text{ mm}^2 < 0,216 \text{ mm}^2 < 17550 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tidak butuh tulangan torsi}$$

### 4. Kebutuhan Tulangan Bawah :

- Kebutuhan Tulangan dicari dengan metode doubly reinforced

- $$\phi = 0,9 \text{ Tension Controlled} \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 21.2.1})$$

- $$\epsilon_t \geq 0,005 \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 21.2.2})$$

- $$\epsilon_{t \min} \geq 0,004 \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 9.3.3.1})$$

- Cek Asumsi  $f'_s = f_y$

- $$d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$$

$$d = 574,5 \text{ mm}$$

- $d' = \text{cover} + \phi + \frac{D}{2} = 50 + 13 + \frac{25}{2} = 75,5$
  - $c = \frac{(A'_s - A_s) f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{(1473,21 - 491,07)(420)}{0,85 (35) (0,8) (450)} = 19,25 \text{ mm}$
  - $a = \beta_1 c = (0,8)(19,25) = 15,4 \text{ mm}$
  - $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$
  - $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{19,25-75,5}{19,25} (0,003) = -0,00876$
- Karena  $\epsilon'_s = -0,00876 < \epsilon_y = 0,0021$  maka  $f'_s \neq f_y$

- Cek Asumsi  $\phi = 0,9$

- $A'_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c b + A_s \left( \frac{c-d'}{c} \right) 0,003 E_s$   
 $(1473,21)(420) = 0,85(35)(0,8) c (450) + 491,07 \left( \frac{c-574,5}{c} \right) (0,003)(200000)$
- $c = 131,34 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(131,34) = 105,07 \text{ mm}$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{131,34-75,5}{131,34} (0,003) = 0,001275$
- $f'_s = \epsilon'_s E_s = (0,001275)(200000) = 255 \text{ MPa}$
- $A_{s2} = A_s \frac{f'_s}{f_y} = (491,07) \frac{255}{420} = 298,15 \text{ mm}^2$
- $A_{s1} = A'_s - A_{s2} = 982,14 - 298,15 = 683,99 \text{ mm}^2$
- $\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{(574,5-19,25)}{19,25} = 0,0865 > 0,005 \rightarrow \text{Asumsi } \phi = 0,9 \text{ Benar}$

- Kuat lentur nominal balok B1 yaitu:

- $\phi M_n = \phi \left( A'_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s f'_s (d - d') \right)$
- $\phi M_n = 0,9 \left( (683,99)(420) \left( 574,5 - \frac{105,07}{2} \right) + (491,07)(255)(574,5 - 75,5) \right)$
- $\phi M_n = 834731 \text{ N.mm} \approx 834,73 \text{ kN.m}$

- Cek terhadap single reinforcement:

- $a = \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{982,14(420)}{0,85(35)(450)} = 30,81 \text{ mm}$
- $\phi M_n = \phi \left( A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) = 0,9(491,071)(420) \left( 574,5 - \frac{30,81}{2} \right)$   
 $\phi M_{n \text{ single}} = 702338998 \text{ N.mm} \approx 702,3 \text{ kN.m}$

- Cek Kapasitas Balok BI 1:

- $M_u^+ = 617,57 \text{ kN.m} < \phi M_{n \text{ single}} = 702,3 \text{ kN.m} \rightarrow OK$
- $M_u^- = 617,57 \text{ kN.m} < \phi M_n = 834,7 \text{ kN.m} \rightarrow OK$

• Tulangan Tumpuan Perlu

1. Tulangan Lentur Bawah :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2} = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,071 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
  - $f_u = 525 \text{ MPa}$
  - $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
  - $n = 3 \text{ buah}$
  - $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2$
- Cek Luas Tulangan Minimum:
- $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)
  - $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{420} (450)(574,5) = 910,39 \text{ mm}^2$
  - $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)
  - $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{420} (450)(574,5) = 861,75 \text{ mm}^2$
- Maka dipakai  $A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2$
- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$
- Cek Rasio Tulangan Maksimum:
- $\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)
- Maka  $A_{s \max} = 0,025 b_w d$
- $A_{s \max} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$
  - $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 < A_{s \max} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

## 2. Tulangan Lentur Atas :

- $D = 25 \text{ mm}$
  - $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$   
 $d = 574,5 \text{ mm}$
  - $A_s = 491,07 \text{ mm}^2$
- Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
  - $f_u = 525 \text{ MPa}$
  - $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
  - $n = 5 \text{ buah}$
  - $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2$
- Cek Luas Tulangan Susut dan Suhu Minimum:
- $A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )
  - $A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{420} (450)(574,5)$   
 $A_{s \min 3} = 465,345 \text{ mm}^2$
  - $A_{s \min 4} = 0,0014 b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )
  - $A_{s \min 4} = 0,0014(450)(574,5) = 361,935$
- Maka dipakai  $A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2$
- $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$
- Cek Rasio Tulangan Maksimum:
- $\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)
- Maka  $A_{s \max} = 0,025 b_w d$
- $A_{s \max} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$
  - $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2 < A_{s \max} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

### 3. Kebutuhan Tulangan Torsi

- $\lambda = 1$  (Beton Normal)
- $T_{th} = 0,083\lambda\sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$  (SNI 2847-2019, Tabel 22.7.4.1)
- $A_{cp} = (450)(650) = 292500 \text{ mm}^2$
- $P_{cp} = 2(450 + 650) = 2200 \text{ mm}$
- $T_{th} = 0,083(1)\sqrt{35} \left( \frac{292500^2}{2200} \right)$   
 $T_{th} = 19095945,85 \text{ N.mm}$
- $\phi T_{th} = 0,8(19095945,85) = 15276756,7 \text{ N.mm}$   
 $\phi T_{th} = 149864,98 \text{ kg.m}$
- $T_u = 4153,12 < \phi T_{th} = 149864,98 \text{ kg.m} \rightarrow$  Tidak butuh tulangan torsi

### 4. Kebutuhan Tulangan Atas :

- Kebutuhan Tulangan dicari dengan metode doubly reinforced
  - $\phi = 0,9$  Tension Controlled (SNI 2847-2019, Tabel 21.2.1 )
  - $\epsilon_t \geq 0,005$  (SNI 2847-2019, Tabel 21.2.2)
  - $\epsilon_{t \min} \geq 0,004$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.3.3.1)

- Cek Asumsi  $f'_s = f_y$

- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$   
 $d = 574,5 \text{ mm}$
- $d' = \text{cover} + \phi + \frac{D}{2} = 50 + 13 + \frac{25}{2} = 75,5$
- $c = \frac{(A'_s - A_s)f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{(2454,37 - 491,07)(420)}{0,85 (35) (0,8) (450)} = 76,99 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(76,99) = 61,59 \text{ mm}$
- $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{19,25-75,5}{76,99} (0,003) = -0,00219$

Karena  $\epsilon'_s = -0,00219 < \epsilon_y = 0,0021$  maka  $f'_s \neq f_y$

- Cek Asumsi  $\phi = 0,9$

- $A'_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c b + A_s \left( \frac{c-d'}{c} \right) 0,003 E_s$   
 $(2454,37)(420) = 0,85(35)(0,8) c (450) + 491,07 \left( \frac{c-574,5}{c} \right) (0,003)(200000)$
- $c = 164,7 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(164,7) = 131,76 \text{ mm}$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{164,7-75,5}{164,7} (0,003) = 0,001624$
- $f'_s = \epsilon'_s E_s = (0,001275)(200000) = 255 \text{ MPa}$
- $A_{s2} = A_s \frac{f'_s}{f_y} = (491,07) \frac{255}{420} = 298,15 \text{ mm}^2$
- $A_{s1} = A'_s - A_{s2} = 2454,37 - 298,15 = 2156,22 \text{ mm}^2$
- $\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{(574,5-164,7)}{164,7}$
- $\epsilon_t = 0,00746 > 0,005 \rightarrow$  Asumsi  $\phi = 0,9$  Benar

- Kuat lentur nominal balok B1 yaitu:

- $\phi M_n = \phi \left( A_{s1} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s f'_s (d - d') \right)$

$$\phi M_n = 0,9 \left( (2156,22)(420) \left( 574,5 - \frac{131,76}{2} \right) + (491,07)(255)(574,5 - 75,5) \right)$$

$$\phi M_n = 965,2 \text{ N.m} \approx 965,2 \text{ kN.m}$$

- Cek terhadap single reinforcement:

- $a = \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(2156,22)(420)}{0,85(35)(450)} = 67,65 \text{ mm}$
- $\phi M_n = \phi \left( A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) = 0,9(491,071)(420) \left( 574,5 - \frac{67,65}{2} \right)$

$$\phi M_{n \text{ single}} = 1003627093 \text{ N.m} \approx 1003,6 \text{ kN.m}$$

- Cek Kapasitas Balok BI 1:

- $M_u^- = 907,58 \text{ kN.m} < \phi M_n = 965,2 \text{ kN.m} \rightarrow OK$
- $M_u^- = 907,58 \text{ kN.m} < \phi M_{n \text{ single}} = 1003,6 \text{ kN.m} \rightarrow OK$

#### 5. Kebutuhan Tulangan Bawah

- $0,5 A'_{s \text{ atas}} < A'_{s \text{ bawah}}$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.2)
- $0,5 A'_{s \text{ atas}} = 0,5 (2454,37) = 1227,2 \text{ mm}^2$
- $A'_{s \text{ bawah}} = 1473,21 \text{ mm}^2$

Maka  $0,5 A'_{s \text{ atas}} = 1227,2 \text{ mm}^2 < A'_{s \text{ bawah}} = 1473,21 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

#### 6. Perencanaan Tulangan Sengkang

- $\phi = 13 \text{ mm}$
- $A_v = 132,785 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Geser (BJTP 280) :

- $f_{yt} = 280 \text{ MPa}$
- $f_{ut} = 350 \text{ MPa}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $V_u \geq \phi V_c$
- $\phi_s = 0,6$

(SNI 2847-2019, Ps. 21.2.4)

- Cek kebutuhan tulangan geser

- $A_{v \text{ min}}$  harus disediakan apabila  $V_u \geq 0,5 \phi V_c$  (SNI 2847-2019, Ps. 7.6.3.1)
- $V_c = \phi 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d$  (SNI 2847-2019, Pers. 22.5.5.1)
- $V_c = (0,6) 0,17 \sqrt{35} (450)(574,5)$
- $V_c = 156004,36 \text{ N} \approx 15902 \text{ kg}$
- $0,5 \phi V_c = 0,5 (0,6)(15902) = 4770,6 \text{ kg}$
- $V_u = 22332,61 \text{ kg} > 4770,6 \text{ kg} \rightarrow \text{Butuh tulangan geser}$

- Tulangan Transversal

$V_s$  harus disediakan apabila  $V_u \geq \phi V_c$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10)

- $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$
- $V_s = \frac{22332,61}{0,6} - 15902$
- $V_s = 21319,02 \text{ kg} \approx 2173,19 \text{ N}$
- $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10.5.3)
- $\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{2173,19}{(280)(574,5)} = 0,0135 \text{ mm}^2/\text{mm}$



- Cek spasi minimum

$$\bullet \frac{A_{vmin}}{s} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w}{d} \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 9.6.3.3})$$

$$\frac{A_{vmin1}}{s} = 0,062 \sqrt{35} \frac{450}{574,5} = 0,287 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\bullet \frac{A_{vmin}}{s} = 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (\text{SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3})$$

$$\frac{A_{vmin2}}{s} = \frac{0,35(450)}{280} = 0,563 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\bullet \frac{A_v}{s} = 0,0135 \text{ mm}^2/\text{mm} < \frac{A_{vmin}}{s} = 0,563 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{Dipakai } \frac{A_{vmin}}{s}$$

$$\bullet \frac{A_v}{s} = \frac{132,785}{s}$$

$$0,563 \text{ mm}^2/\text{mm} = \frac{132,785}{s}$$

$$s = \frac{132,785}{0,563} = 235,85 \text{ mm}$$

- Cek Kondisi  $V_s$

$$\bullet 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d = 0,33 \sqrt{35} (450)(574,5) = 504719,9 \text{ N}$$

$$\bullet V_s < 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d \rightarrow 2173,19 \text{ N} < 504719,9 \text{ N}$$

Maka;

$$\bullet s_{maks} = \frac{d}{2} \quad (\text{SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3})$$

$$\bullet s_{maks1} = \frac{574,5}{2} = 287,25 \text{ mm}$$

$$\bullet s_{maks} = 600 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3})$$

$$\bullet s_{maks2} = 600 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $s_{maks} = 287,25 \approx 300 \text{ mm}$

$$\bullet s = 235,85 > s_{maks} = 287,25 \rightarrow \text{Dipakai } s = 235,85 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

### 6.1.2 Pendetailan Tulangan

1. Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019

Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.

2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019

3. Pasal 25.4.1.4 Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik (ld):

- Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$a. \frac{f_y \phi_t \phi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} db = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

$$b. 300 \text{ mm}$$

- Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3

$$\frac{f'_c}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\phi_t \phi_e \phi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{db}} db = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$ld_{max} = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik (ld) sebesar 1100 mm

4. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik ldh batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan ldh berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \text{ (Tabel 25.4.3.2)}$$

$$\Psi_r = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$db = 25 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran Tarik "ldh" dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_e \phi_c \phi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \times db = \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm}$$

$$b. 8db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$c. 150 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran "kait" kondisi tarik (ldh) adalah 298,17 mm

5. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran ldh:

Diketahui:

$$db = 22 \text{ mm}$$

- a. Kait harus dilingkupi sepanjang ldh dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan spasi  $S \leq 3db$

$$S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

- b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak 2db disisi terluar bengkokan

$$S = 2db = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

- c.  $\Psi_r$  harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan ldh sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)

Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat ldh = 298,17 mm

6. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran ldc untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir "tekan" dihitung berdasarkan:

- Pasal 25.4.9.1.

- a. Hasil dari Pasal 25.4.9.2.

$$b. 200 \text{ mm}$$

- Pasal 25.4.9.2

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} db = \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm}$$

$$b. 0,043 f_y \phi_r db = 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}$$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan “ldc” adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

7. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:

- a. 40 mm

- b.  $1,5 db = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$

- c.  $4/3 d \text{ agregat} = 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm}$  (asumsi d agregat = 20 mm)

8. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5

- Pasal 25.5.2.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi Tarik (lst)

Diketahui:

$$As \text{ terpasang} = 5887,5 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{st}}{A_{sp}} = \frac{5887,5}{3600} = 1.64 < 2$$

Digunakan tipe sambungan lewatan kelas B, maka lst adalah nilai terbesar dari:

- a.  $1.3 ld = 1,3 \times 1098,70 = 1428,3 \text{ mm}$

- b. 300 mm

Maka nilai lst adalah 1428,3 mm.

- Pasal 25.5.5.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir kondisi tekan ( $f_y = 420$ ) adalah nilai terbesar dari:

- a.  $0.071 f_y db = 0.071 \times 420 \times 25 = 745,5 \text{ mm}$

- b. 300 mm

Maka nilai lsc adalah 745,5 mm.

Pasal 10.7.5.2.1 Faktor pengurangan sambungan lewatan kondisi tekan:

$$\text{Spasi sengkang} = 150 \text{ mm}$$

$$0.0015 \cdot h \cdot s = 0,0015 \times 600 \times 150 = 135 \text{ mm}^2$$

$$Ab \text{ (luas sengkang)} = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kontrol } Ab > 0.0015 h \cdot s \text{ (OK)}$$

Faktor pengurangan sambungan lewatan adalah 0,83, sehingga:

$$\text{Panjang lsc terfaktor} = 0,83 \times 745,5 = 618,765 \text{ mm}$$

9. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:

$$1.25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$$

Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit 750 mm.

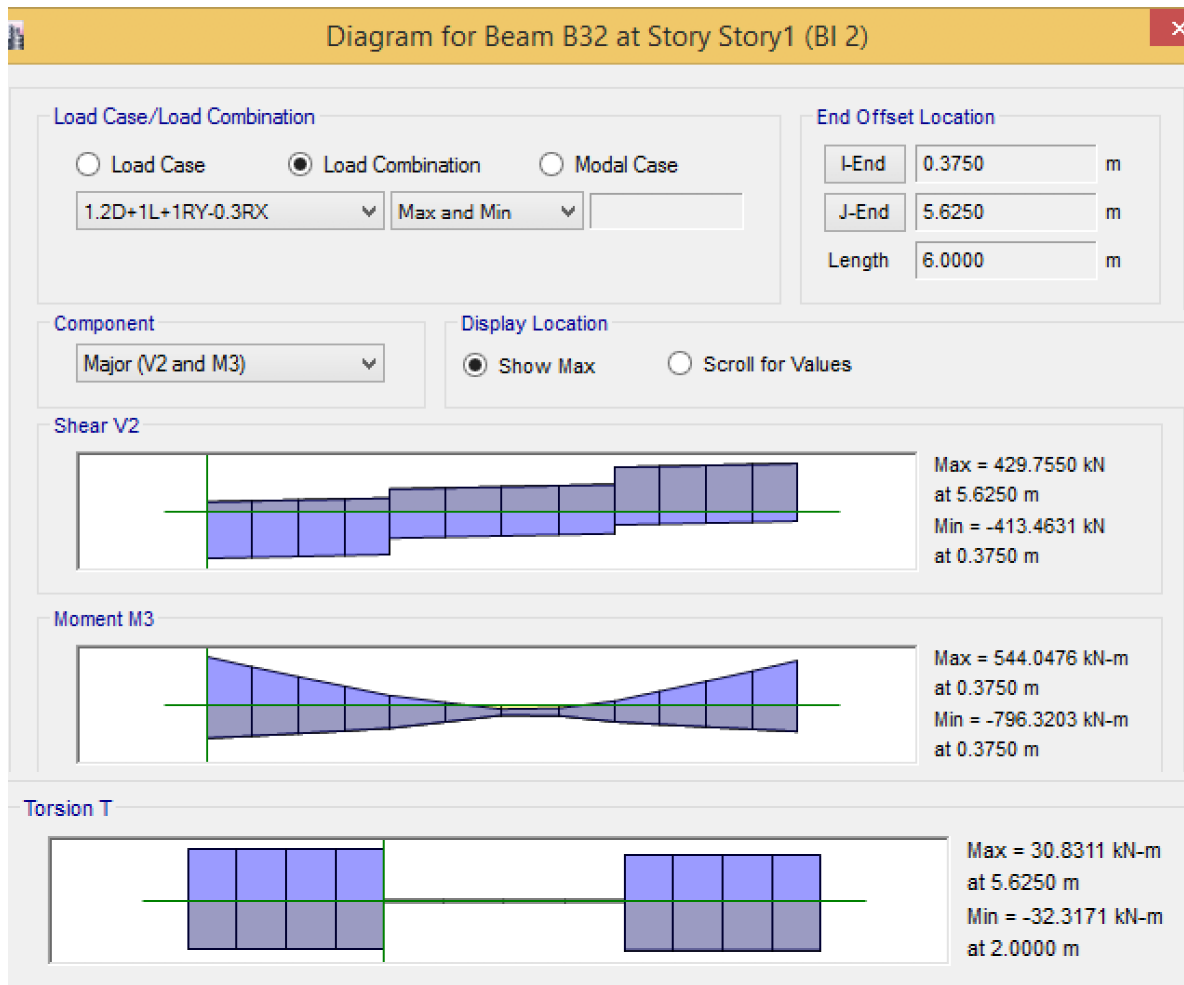
10. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3

Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu = 100 mm

### 6.1.3 Balok BI 2

A. Hasil Program Bantu

Dari ETABS didapatkan momen, tegangan geser dan momen torsi akibat beban terfaktor yaitu:



Gambar 6.2 Diagram Momen, Geser dan Torsi Balok Induk Tipe BI 2

- $M_u^+ = 544,05 \text{ kN.m}$
- $M_u^- = -796,32 \text{ kN.m}$
- $V_u = 429,75 \text{ kN.m}$
- $T_u = 32,31 \text{ kN.m}$

• Data Perencanaan Balok BI 1:

- $L = 6000 \text{ mm}$
- $b = 500 \text{ mm}$
- $h = 650 \text{ mm}$
- $cover = 50 \text{ mm}$  (SNI 2847-2019, Tabel 20.6.1.3.1)
- $f'_c = 40 \text{ MPa}$  (SNI 2847-2019, Ps.19.2.2.1)
- $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$  (SNI 2847-2019, Ps. 19.2.2.1.b)
- $E_c = 4700\sqrt{40} = 30351,54 \text{ MPa}$
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c-28)}{7}$  (SNI 2847-2019, Ps.22.2.2.4.3)
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(40-28)}{7} = 0,76$

-  $\lambda = 1$  (Beton Normal)

(SNI 2847-2019, Tabel.19.2.4.2)

• Tulangan Lapangan Perlu

1. Tulangan Lentur Atas :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,07 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_u = 525 \text{ MPa}$
- $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
- $n = 2 \text{ buah}$
- $A'_s = 982,142 \text{ mm}^2$

- Cek Luas Tulangan Minimum:

- $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)

$$A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{420} (450)(574,5) = 910,39 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)

$$A_{s \min 2} = \frac{1,4}{420} (450)(574,5) = 861,75 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

- Cek Rasio Tulangan Maksimum:

- $\rho_{\max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)

Maka  $A_{s \max} = 0,025 b_w d$

- $A_{s \max} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 < A_{s \max} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

1. Tulangan Lentur Bawah :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,071 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_u = 525 \text{ MPa}$
- $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
- $n = 3 \text{ buah}$
- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2$

- Cek Luas Tulangan Susut dan Suhu Minimum:

- $A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )

$$A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{420} (450)(574,5)$$

$$A_{s \min 3} = 465,345 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \min 4} = 0,0014 b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )

$$A_{s \min 4} = 0,0014(450)(574,5) = 361,935$$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 982,142 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

- Cek Rasio Tulangan Maksimum:

- $\rho_{max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)

Maka  $A_{s maks} = 0,025 b_w d$

- $A_{s maks} = 0,025(450)(574,5)$

$$\bullet A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2$$

- $A'_s = 982,142 \text{ mm}^2 < A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

## 2. Tulangan Longitudinal Torsi :

- $\theta = 45^0$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.2)

$$\bullet T_u = 4153,12 \text{ kg.m} \approx 423355,76 \text{ N.mm}$$

$$\bullet T_n = \frac{\phi T_u}{\phi} = \frac{423355,76}{0,8} = 52994,7 \text{ N.mm}$$

$$\bullet A_g = b h = (450)(650) = 292500 \text{ mm}^2$$

$$\bullet A_{cp} = A_g = 292500 \text{ mm}^2$$

$$\bullet A_{oh} = A_{cp} = 292500 \text{ mm}^2$$

$$\bullet P_{cp} = 2(b + h) = 2(450 + 650) = 2200 \text{ mm}$$

$$\bullet A_o = 0,85 A_{oh} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.1})$$

$$\bullet A_o = 0,85(292500) = 248625 \text{ mm}^2$$

$$\bullet p_h = \left(b - 2c - 2\frac{D}{2}\right) + \left(h - 2c - 2\frac{D}{2}\right)$$

$$\bullet p_h = \left(450 - 2(50) - 2\frac{(25)}{2}\right) + \left(650 - 2(50) - 2\frac{(25)}{2}\right)$$

$$\bullet p_h = 170625 \text{ mm}$$

$$\bullet A_l = \frac{T_n p_h}{2 A_o f_y \cot \theta} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1})$$

$$\bullet A_l = \frac{(52994,7)(170625)}{2(248625)(420) \cot(45^0)} = 0,216 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Luas Tulangan Longitudinal Torsi :

$$0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 18.7.4.2})$$

$$0,01 (292500) < 43,96 < 0,06 (292500)$$

$$2925 \text{ mm}^2 < 0,216 \text{ mm}^2 < 17550 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tidak butuh tulangan torsi}$$

## 3. Kebutuhan Tulangan Bawah :

- Kebutuhan Tulangan dicari dengan metode doubly reinforced

- $\phi = 0,9$  Tension Controlled (SNI 2847-2019, Tabel 21.2.1 )

$$\bullet \epsilon_t \geq 0,005 \quad (\text{SNI 2847-2019, Tabel 21.2.2})$$

$$\bullet \epsilon_{t \min} \geq 0,004 \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 9.3.3.1})$$

- Cek Asumsi  $f'_s = f_y$

$$\bullet d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$$

$$d = 574,5 \text{ mm}$$

$$\bullet d' = \text{cover} + \phi + \frac{D}{2} = 50 + 13 + \frac{25}{2} = 75,5$$

$$\bullet c = \frac{(A'_s - A_s) f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{(1473,21 - 491,07)(420)}{0,85 (35) (0,8) (450)} = 19,25 \text{ mm}$$

$$\bullet a = \beta_1 c = (0,8)(19,25) = 15,4 \text{ mm}$$

- $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{19,25-75,5}{19,25} (0,003) = -0,00876$

Karena  $\epsilon'_s = -0,00876 < \epsilon_y = 0,0021$  maka  $f'_s \neq f_y$

- Cek Asumsi  $\phi = 0,9$

- $A'_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c b + A_s \left( \frac{c-d'}{c} \right) 0,003 E_s$   
 $(1473,21)(420) = 0,85(35)(0,8) c (450) + 491,07 \left( \frac{c-574,5}{c} \right) (0,003)(200000)$
- $c = 131,34 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(131,34) = 105,07 \text{ mm}$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{131,34-75,5}{131,34} (0,003) = 0,001275$
- $f'_s = \epsilon'_s E_s = (0,001275)(200000) = 255 \text{ MPa}$
- $A_{s2} = A_s \frac{f'_s}{f_y} = (491,07) \frac{255}{420} = 298,15 \text{ mm}^2$
- $A_{s1} = A'_s - A_{s2} = 982,14 - 298,15 = 684,99 \text{ mm}^2$
- $\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{(574,5-19,25)}{19,25} = 0,0865 > 0,005 \rightarrow \text{Asumsi } \phi = 0,9 \text{ Benar}$

- Kuat lentur nominal balok B1 yaitu:

- $\phi M_n = \phi \left( A_{s1} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s f'_s (d - d') \right)$
- $\phi M_n = 0,9 \left( (684,99)(420) \left( 574,5 - \frac{105,07}{2} \right) + (491,07)(255)(574,5 - 75,5) \right)$
- $\phi M_n = 1002343143 \text{ N.mm} \approx 1002,3 \text{ kN.m}$

- Cek terhadap single reinforcement:

- $a = \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{982,14(420)}{0,85(35)(450)} = 30,81 \text{ mm}$
- $\phi M_n = \phi \left( A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) = 0,9(491,071)(420) \left( 574,5 - \frac{30,81}{2} \right)$   
 $\phi M_{n \text{ single}} = 702338998 \text{ N.mm} \approx 702,3 \text{ kN.m}$

- Cek Kapasitas Balok BI 1:

- $M_u^+ = 617,57 \text{ kN.m} < \phi M_{n \text{ single}} = 702,3 \text{ kN.m} \rightarrow OK$
- $M_u^- = 617,57 \text{ kN.m} < \phi M_n = 1002,3 \text{ kN.m} \rightarrow OK$

• Tulangan Tumpuan Perlu

1. Tulangan Lentur Bawah :

- $D = 25 \text{ mm}$
- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2} = 574,5 \text{ mm}$
- $A_s = 491,071 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_u = 525 \text{ MPa}$
- $n_{\text{lapis}} = 1 \text{ lapis}$
- $n = 3 \text{ buah}$
- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2$

- Cek Luas Tulangan Minimum:

- $A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)

$$A_{s \min 1} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{420} (450)(574,5) = 910,39 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.6.1.2)

$$A_{s \min 2} = \frac{1,4}{420} (450)(574,5) = 861,75 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 910,39 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

- Cek Rasio Tulangan Maksimum:

- $\rho_{max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)

Maka  $A_{s maks} = 0,025 b_w d$

- $A_{s maks} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 1473,21 \text{ mm}^2 < A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

2. Tulangan Lentur Atas :

- $D = 25 \text{ mm}$

- $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$

$$d = 574,5 \text{ mm}$$

- $A_s = 491,07 \text{ mm}^2$

Mutu Tulangan Longitudinal (BJTS 420) :

- $f_y = 420 \text{ MPa}$

- $f_u = 525 \text{ MPa}$

- $n_{lapis} = 1 \text{ lapis}$

- $n = 5 \text{ buah}$

- $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2$

- Cek Luas Tulangan Susut dan Suhu Minimum:

- $A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )

$$A_{s \min 3} = \frac{0,0018 \times 420}{420} (450)(574,5)$$

$$A_{s \min 3} = 465,345 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \min 4} = 0,0014 b_w d$  (SNI 2847-2019, Tabel 24.4.3.2 )

$$A_{s \min 4} = 0,0014(450)(574,5) = 361,935$$

Maka dipakai  $A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 465,345 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

- Cek Rasio Tulangan Maksimum:

- $\rho_{max} = 0,025$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.1)

Maka  $A_{s maks} = 0,025 b_w d$

- $A_{s maks} = 0,025(450)(574,5) = 6463,125 \text{ mm}^2$

- $A'_s = 2454,37 \text{ mm}^2 < A_{s maks} = 6463,125 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

3. Kebutuhan Tulangan Torsi

- $\lambda = 1$  (Beton Normal)

- $T_{th} = 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$  (SNI 2847-2019, Tabel 22.7.4.1)

- $A_{cp} = (450)(650) = 292500 \text{ mm}^2$

- $P_{cp} = 2(450 + 650) = 2200 \text{ mm}$



- $T_{th} = 0,083(1)\sqrt{35} \left( \frac{292500^2}{2200} \right)$   
 $T_{th} = 19095945,85 \text{ N.mm}$
- $\phi T_{th} = 0,8(19095945,85) = 15276756,7 \text{ N.mm}$   
 $\phi T_{th} = 149864,98 \text{ kg.m}$
- $T_u = 4153,12 < \phi T_{th} = 149864,98 \text{ kg.m} \rightarrow$  Tidak butuh tulangan torsi

#### 4. Kebutuhan Tulangan Atas :

- Kebutuhan Tulangan dicari dengan metode doubly reinforced
  - $\phi = 0,9$  Tension Controlled (SNI 2847-2019, Tabel 21.2.1 )
  - $\epsilon_t \geq 0,005$  (SNI 2847-2019, Tabel 21.2.2)
  - $\epsilon_{t \min} \geq 0,004$  (SNI 2847-2019, Ps. 9.3.3.1)

#### - Cek Asumsi $f'_s = f_y$

- $d = h - \text{cover} - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$   
 $d = 574,5 \text{ mm}$
- $d' = \text{cover} + \phi + \frac{D}{2} = 50 + 13 + \frac{25}{2} = 75,5$
- $c = \frac{(A'_s - A_s) f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{(2454,37 - 491,07)(420)}{0,85 (35) (0,8) (450)} = 76,99 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(76,99) = 61,59 \text{ mm}$
- $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{19,25-75,5}{76,99} (0,003) = -0,00219$   
 Karena  $\epsilon'_s = -0,00219 < \epsilon_y = 0,0021$  maka  $f'_s \neq f_y$

#### - Cek Asumsi $\phi = 0,9$

- $A'_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c b + A_s \left( \frac{c-d'}{c} \right) 0,003 E_s$   
 $(2454,37)(420) = 0,85(35)(0,8) c (450) + 491,07 \left( \frac{c-574,5}{c} \right) (0,003)(200000)$
- $c = 164,7 \text{ mm}$
- $a = \beta_1 c = (0,8)(164,7) = 131,76 \text{ mm}$
- $\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) = \frac{164,7-75,5}{164,7} (0,003) = 0,001624$
- $f'_s = \epsilon'_s E_s = (0,001624)(200000) = 324,8 \text{ MPa}$
- $A_{s2} = A_s \frac{f'_s}{f_y} = (491,07) \frac{324,8}{420} = 380,15 \text{ mm}^2$
- $A_{s1} = A'_s - A_{s2} = 2454,37 - 380,15 = 2074,22 \text{ mm}^2$
- $\epsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{c} = 0,003 \frac{(574,5-164,7)}{164,7}$
- $\epsilon_t = 0,00746 > 0,005 \rightarrow$  Asumsi  $\phi = 0,9$  Benar

#### - Kuat lentur nominal balok B2 yaitu:

- $\phi M_n = \phi \left( A_{s1} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s f'_s (d - d') \right)$   
 $\phi M_n = 0,9 \left( (2074,22)(420) \left( 574,5 - \frac{131,76}{2} \right) + (380,15)(324,8)(574,5 - 75,5) \right)$   
 $\phi M_n = 812817653 \text{ N.mm} \approx 812,87 \text{ kN.m}$

#### - Cek terhadap single reinforcement:

- $a = \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(2156,22)(420)}{0,85(35)(450)} = 67,65 \text{ mm}$

- $\phi M_n = \phi \left( A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) = 0,9(491,071)(420) \left( 574,5 - \frac{67,65}{2} \right)$

$$\phi M_{n\ single} = 965767865\ N.mm \approx 965,76\ kN.m$$

- Cek Kapasitas Balok BI 1:

- $M_u^- = 796,32\ kN.m < \phi M_n = 812,87\ kN.m \rightarrow OK$

- $M_u^- = 796,32\ kN.m < \phi M_{n\ single} = 965,7\ kN.m \rightarrow OK$

#### 5. Kebutuhan Tulangan Bawah

- $0,5 A'_{s\ atas} < A'_{s\ bawah}$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.6.3.2)

- $0,5 A'_{s\ atas} = 0,5 (2454,37) = 1227,2\ mm^2$

- $A'_{s\ bawah} = 1473,21\ mm^2$

Maka  $0,5 A'_{s\ atas} = 1227,2\ mm^2 < A'_{s\ bawah} = 1473,21\ mm^2 \rightarrow OK$

#### 6. Perencanaan Tulangan Sengkang

- $\phi = 13\ mm$

- $A_v = 132,785\ mm^2$

Mutu Tulangan Geser (BJTP 280) :

- $f_{yt} = 280\ MPa$

- $f_{ut} = 350\ MPa$

- $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$

$$d = 574,5\ mm$$

- $V_u \geq \phi V_c$

- $\phi_s = 0,6$

(SNI 2847-2019, Ps. 21.2.4)

- Cek kebutuhan tulangan geser

- $A_{v\ min}$  harus disediakan apabila  $V_u \geq 0,5 \phi V_c$  (SNI 2847-2019, Ps. 7.6.3.1)

- $V_c = \phi 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d$  (SNI 2847-2019, Pers. 22.5.5.1)

- $V_c = (0,6) 0,17 \sqrt{35} (450)(574,5)$

$$V_c = 156004,36\ N \approx 15902\ kg$$

- $0,5 \phi V_c = 0,5 (0,6)(15902) = 4770,6\ kg$

- $V_u = 22332,61\ kg > 4770,6\ kg \rightarrow$  Butuh tulangan geser

- Tulangan Transversal

$V_s$  harus disediakan apabila  $V_u \geq \phi V_c$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10)

- $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$

$$V_s = \frac{22332,61}{0,6} - 15902$$

$$V_s = 21319,02\ kg \approx 2173,19\ N$$

- $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$

(SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10.5.3)

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{2173,19}{(280)(574,5)} = 0,0135\ mm^2/mm$$

- Cek spasi minimum

- $\frac{A_{v\ min}}{s} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w}{d}$

(SNI 2847-2019, Tabel 9.6.3.3)

$$\frac{A_{v\ min1}}{s} = 0,062 \sqrt{35} \frac{450}{574,5} = 0,287\ mm^2/mm$$

- $\frac{A_{vmin}}{s} = 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}}$  (SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3)
- $\frac{A_{vmin2}}{s} = \frac{0,35(450)}{280} = 0,563 \text{ mm}^2/\text{mm}$
- $\frac{A_v}{s} = 0,0135 \text{ mm}^2/\text{mm} < \frac{A_{vmin}}{s} = 0,563 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{Dipakai } \frac{A_{vmin}}{s}$
- $\frac{A_v}{s} = \frac{132,785}{s}$
- $0,563 \text{ mm}^2/\text{mm} = \frac{132,785}{s}$
- $s = \frac{132,785}{0,563} = 235,85 \text{ mm}$

- Cek Kondisi  $V_s$

- $0,33\sqrt{f'_c} b_w d = 0,33\sqrt{35} (450)(574,5) = 504719,9 \text{ N}$
- $V_s < 0,33\sqrt{f'_c} b_w d \rightarrow 2173,19 \text{ N} < 504719,9 \text{ N}$

Maka;

- $s_{maks} = \frac{d}{2}$  (SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3)
- $s_{maks1} = \frac{574,5}{2} = 287,25 \text{ mm}$
- $s_{maks} = 600 \text{ mm}$  (SNI 2847-2019 Tabel 9.6.3.3)
- $s_{maks2} = 600 \text{ mm}$

Maka dipakai  $s_{maks} = 287,25 \approx 300 \text{ mm}$

- $s = 235,85 > s_{maks} = 287,25 \rightarrow \text{Dipakai } s = 235,85 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$

#### 6.1.4 Pendetailan Tulangan

1. **Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019**  
**Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.**

2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019

3. Pasal 25.4.1.4 Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ):

- Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$a. \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

b. 300 mm

- Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3

$$\frac{f'c}{1,1 \lambda \sqrt{f'c}} \frac{\phi_t \phi_e \phi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$l_d \max = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ) sebesar 1100 mm

4. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik  $l_{dh}$  batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan  $l_{dh}$  berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \quad (\text{Tabel 25.4.3.2})$$

$$\Psi_r = 1$$

$$f'c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran Tarik " $l_{dh}$ " dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_e \phi_c \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} \times d_b = \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm}$$

$$b. 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$c. 150 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran "kait" kondisi tarik ( $l_{dh}$ ) adalah 298,17 mm

5. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran  $l_{dh}$ :

Diketahui:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- a. Kait harus dilingkupi sepanjang  $l_{dh}$  dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan spasi  $S \leq 3d_b$

$$S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

- b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak  $2d_b$  disisi terluar bengkokan

$$S = 2d_b = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

- c.  $\Psi_r$  harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan  $l_{dh}$  sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)

Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat  $l_{dh} = 298,17 \text{ mm}$

6. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran  $l_{dc}$  untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir "tekan" dihitung berdasarkan:

- Pasal 25.4.9.1.

- a. Hasil dari Pasal 25.4.9.2.

$$b. 200 \text{ mm}$$

- Pasal 25.4.9.2

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} d_b = \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm}$$

$$b. 0,043 f_y \phi_r d_b = 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}$$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan “ $l_{dc}$ ” adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

7. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:

- a. 40 mm
- b.  $1,5 d_b = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$
- c.  $4/3 d_{\text{agregat}} = 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm}$  (asumsi  $d_{\text{agregat}} = 20 \text{ mm}$ )

8. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5

- Pasal 25.5.2.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_{st}$ ) Diketahui:

$$A_s \text{ terpasang} = 5887,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{st}}{A_{sp}} = \frac{5887,5}{3600} = 1,64 < 2$$

Digunakan tipe sambungan lewatan kelas B, maka  $l_{st}$  adalah nilai terbesar dari:

- a.  $1,3 l_d = 1,3 \times 1098,70 = 1428,3 \text{ mm}$
- b. 300 mm

Maka nilai  $l_{st}$  adalah 1428,3 mm.

- Pasal 25.5.5.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir kondisi tekan ( $f_y = 420$ ) adalah nilai terbesar dari:

- a.  $0,071 f_y d_b = 0,071 \times 420 \times 25 = 745,5 \text{ mm}$
- b. 300 mm

Maka nilai  $l_{sc}$  adalah 745,5 mm.

Pasal 10.7.5.2.1 Faktor pengurangan sambungan lewatan kondisi tekan:

$$\text{Spasi sengkang} = 150 \text{ mm}$$

$$0,0015 \cdot h \cdot s = 0,0015 \times 600 \times 150 = 135 \text{ mm}^2$$

$$A_b \text{ (luas sengkang)} = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kontrol } A_b > 0,0015 h \cdot s \text{ (OK)}$$

Faktor pengurangan sambungan lewatan adalah 0,83, sehingga:

$$\text{Panjang } l_{sc} \text{ terfaktor} = 0,83 \times 745,5 = 618,765 \text{ mm}$$

9. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:

$$1,25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$$

Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit 750 mm.

10. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3

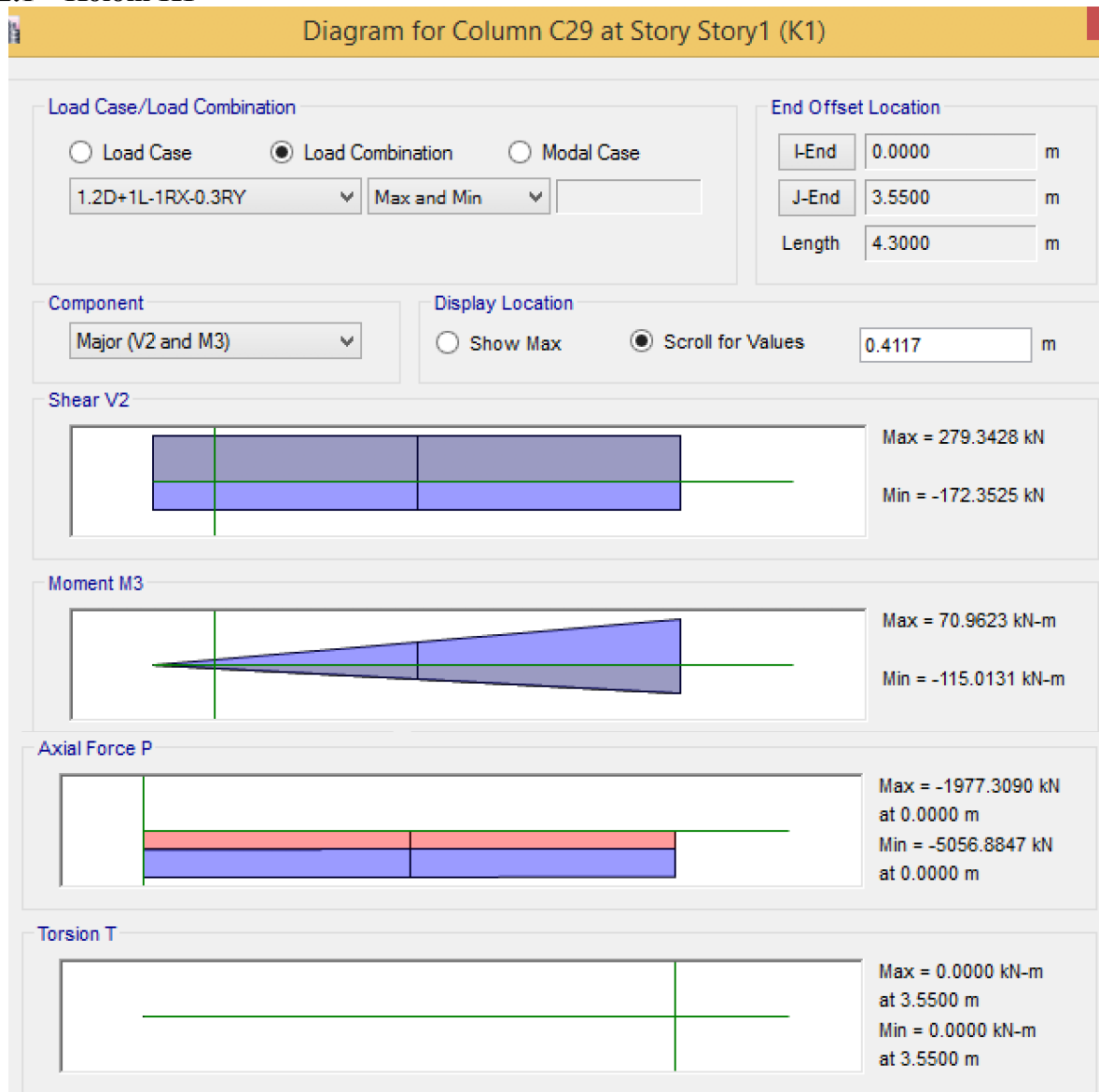
Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu = 100 mm

Tabel 6.1 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Tipe Balok	Bentang (mm)	Dimensi (mm x mm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Geser
				Atas	Bawah	
BI 1	8000	550 x 750	Tumpuan	4D25	5D25	Ø 13 - 100
			Lapangan	3D25	3D25	Ø 13 - 100
B I2	6000	500 x 650	Tumpuan	3D25	4D25	Ø 13 - 200
			Lapangan	2D25	2D25	Ø 13 - 200

## 6.2 Kolom

### 6.2.1 Kolom K1



Gambar 6.3 Diagram Momen, Geser dan Torsi Kolom Tipe K1

Dari hasil permodelan ETABS didapatkan beban pada kolom lantai 1 sebagai berikut :

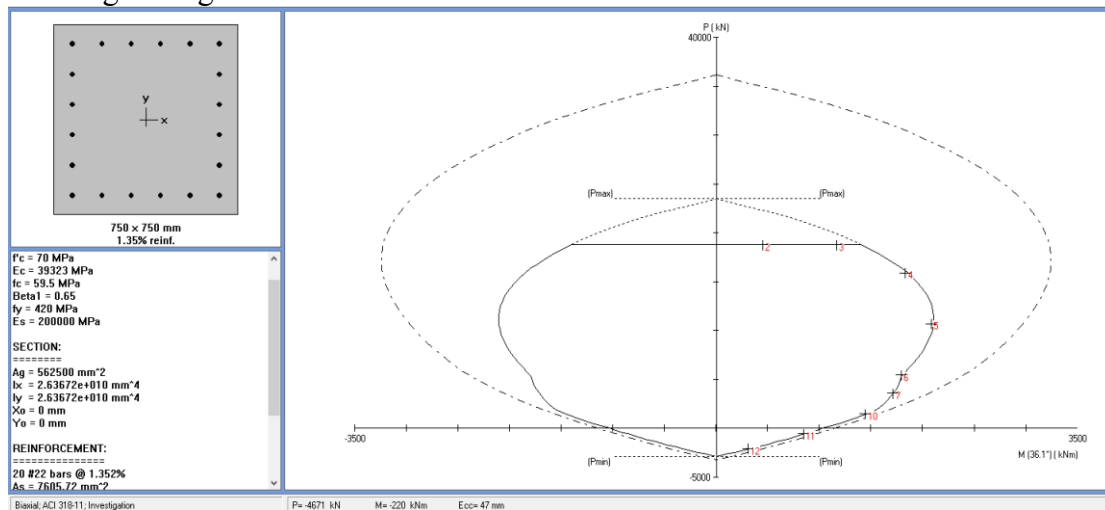
- $P_u = 5056,88 \text{ kN}$
- $V_u = 279,34 \text{ kN}$
- $T_u = 0 \text{ kN}$

Diketahui data-data kolom sebagai berikut :

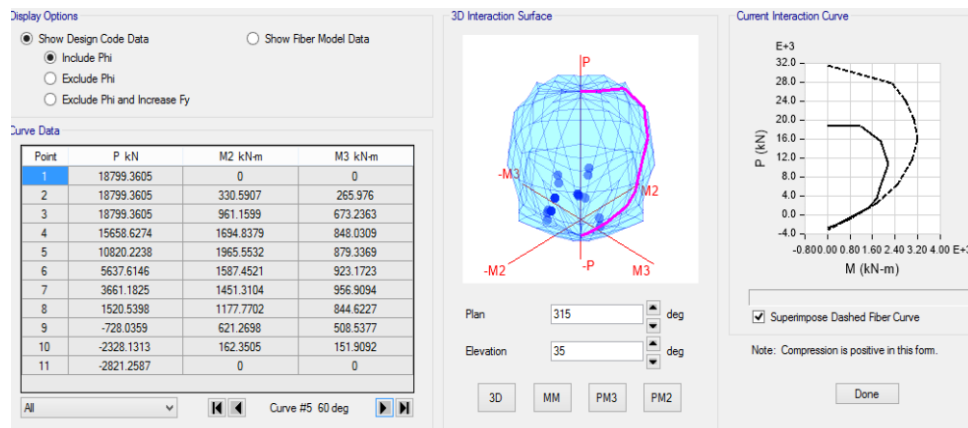
- $L = 4300 \text{ mm}$
- $b = 750 \text{ mm}$
- $h = 750 \text{ mm}$
- $cover = 50 \text{ mm}$  (SNI 2847-2019, Tabel 20.6.1.3.1)
- $f'_c = 70 \text{ MPa}$
- $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$  (SNI 2847-2019, Ps. 20.2.2.2)
- $E_c = 4700\sqrt{70} = 39323,02 \text{ MPa}$
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $f_{yt} = 700 \text{ MPa}$
- $\beta_1 = 0,65$  (SNI 2847-2019, Ps.22.2.2.4.3)
- $\lambda = 1 \text{ (Beton Normal)}$  (SNI 2847-2019, Tabel.19.2.4.2)
- $h_n = L - \left( \frac{h_{balok \text{ atas}}}{2} + \frac{h_{balok \text{ bawah}}}{2} \right)$
- $h_n = 4300 - \left( \frac{750}{2} + \frac{750}{2} \right) = 3550 \text{ mm}$
- $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2}$
- $d = 750 - 50 - 16 - \frac{22}{2} = 673 \text{ mm}$
- $A_g = bh = (750)(750) = 562500 \text{ mm}^2$
- $A_{cp} = A_g = 562500 \text{ mm}^2$
- $P_{cp} = 2(b + h) = 2(750 + 750) = 3000 \text{ mm}$

#### Perhitungan Tulangan Lentur

Pada perhitungan tulangan lentur menggunakan program bantu SPColumn dengan menginput gaya aksial dan momen dari ETABS, dan direncanakan menggunakan dimensi 750 x 750 mm dengan tulangan longitudinal 20D22.



Gambar 6.4 Hasil SPColumn kurva interaksi kolom tipe K1



Gambar 6.5 Hasil ETABS kurva interaksi kolom tipe K1

Didapatkan hasil input beban untuk arah x, arah y dan biaxial pada SPColumn sebagai berikut :

No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMnx kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu	NA depth mm	Dt depth mm	eps_t	Phi
1	18799.36	0.00	0.00	1397.67	0.00	999.999	926	673	-0.00082	0.650
2	18799.40	363.67	265.54	1136.95	830.15	3.126	1110	930	-0.00049	0.650
3	18799.40	941.19	687.21	1136.95	830.14	1.208	1110	930	-0.00049	0.650
4	15917.53	1479.79	1080.48	1493.43	1090.44	1.009	975	941	-0.00011	0.650
5	10708.02	1682.60	1228.56	1700.44	1241.59	1.011	774	947	0.00067	0.650
6	5472.88	1447.67	1057.02	1455.37	1062.64	1.005	555	936	0.00206	0.650
7	3581.12	1384.11	1010.61	1385.86	1011.89	1.001	442	929	0.00331	0.754
8	1505.65	1166.99	852.08	1177.31	859.62	1.009	329	922	0.00542	0.900
9	3581.12	248.08	497.54	801.89	1608.28	3.232	386	878	0.00384	0.800
10	1505.65	1166.99	852.08	1177.31	859.62	1.009	329	922	0.00542	0.900
11	-560.34	681.42	497.54	696.80	508.77	1.023	214	893	0.00958	0.900
12	-2076.28	248.08	181.13	268.11	195.76	1.081	88	778	0.02403	0.900
13	-2821.26	0.00	0.00	20.09	0.00	999.999	2	673	0.97922	0.900

Gambar 6.6 Hasil input beban untuk arah biaxial pada SPColumn

Didapatkan:

- $\phi M_{n_x} = 1700,44 \text{ kN.m}$
- $M_{nc_x} = \frac{\phi M_{n_x}}{\phi} = \frac{1700,44}{0,65} = 2616,06 \text{ kN.m}$
- $\phi M_{n_y} = 1700,44 \text{ kN.m}$
- $M_{nc_y} = \frac{\phi M_{n_y}}{\phi} = \frac{1608,28}{0,65} = 2474,28 \text{ kN.m}$

Tulangan Longitudinal

- $D_l = 22 \text{ mm}$
- $A_l = \pi \frac{D_l^2}{4} = \pi \frac{(22)^2}{4} = 390,28 \text{ mm}^2$
- $n_l = 20 \text{ buah}$
- $A_{sl} = n A_l = 20(390,28)$
- $A_{sl} = 7805,6 \text{ mm}^2$
- $A_{oh} = \left(b - 2c - 2\frac{D_t}{2}\right) \left(h - 2c - 2\frac{D_t}{2}\right)$
- $A_{oh} = \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right) \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right)$
- $A_{oh} = 401956 \text{ mm}^2$
- $A_o = 0,85 A_{oh}$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.1)
- $A_o = 401956 = 401956 \text{ mm}^2$
- $P_h = \left(b - 2c - 2\frac{D}{2}\right) + \left(h - 2c - 2\frac{D}{2}\right)$



- $P_h = 2 \left( \left( 750 - 2(50) - 2 \frac{(16)}{2} \right) + \left( 750 - 2(50) - 2 \frac{(16)}{2} \right) \right)$
- $P_h = 2536 \text{ mm}$

Kontrol Luas Tulangan Longitudinal Torsi :

- $0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g$  (SNI 2847-2019, Ps. 18.7.4.2)
- $0,01 (562500) < 7805,6 < 0,06 (562500)$
- $5625 \text{ mm}^2 < 7805,6 \text{ mm}^2 < 33750 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$

Kontrol Akibat Beban  $P_u$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.4.2.2)

- $D_t = 13 \text{ mm}$
- $P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{sl}) + f_y A_{sl}$
- $P_o = 0,85(70)((562500) - (7805,6)) + (420)(7805,6)$
- $P_o = 36282669 \text{ N} \approx 36282 \text{ kN}$
- $P_{n \max} = 0,8 P_o = 0,8(36282) = 29025,6 \text{ kN} > P_u = 5056,88 \text{ kN} (OK)$

- Perhitungan Tulangan Torsi

- $\phi T_{th} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{P_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}} \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 22.7.1.1})$
- $\phi T_{th} = (0,8)0,083(1)\sqrt{70} \left( \frac{562500^2}{3000} \right) \sqrt{1 + \frac{5056880}{0,33 (562500)(1)\sqrt{70}}} = 240,37 \text{ kN.m}$
- $T_u = 0 \text{ kN.m} < \phi T_{th} = 240,37 \text{ kN.m} \rightarrow \text{tidak butuh tulangan torsi minimum}$

Column Hinging

- $V_{sway_1} = \frac{M_{ncx} + M_{ncy}}{h_n} = \frac{(2616 + 2474)}{3,55} = 1433 \text{ kN} \quad (\text{SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1})$

Beam Hinging

- $M_{pr_1} = -907,58 \text{ kN.m}$
- $M_{pr_2} = 617,57 \text{ kN.m}$
- $V_{sway_2} = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{h_n} = \frac{907,58 + 617,57}{3,55} = 429 \text{ kN}$

Nilai  $V_c$  dianggap 0 jika memenuhi syarat berikut menurut Pasal

- $V_{sway_2} \geq 0,5 V_u$  (SNI 2847:2019 Ps 18.7.6.2.1)
- $429 \geq 0,5(279,34)$
- $429 \text{ kN} \geq 139,67 \text{ kN} \rightarrow OK$
- $0,05 f'_c A_g \geq P_u$
- $0,05(70)(562500) \geq 5056,88 \text{ kN}$
- $1968,75 \text{ kN} \geq 5056,88 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK}$

Perhitungan Tulangan Geser

- $\phi V_c = \phi 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 22.5.6.1})$
- $\phi V_c = (0,75)0,17 \left( 1 + \frac{5056880}{14(562500)} \right) (1)(\sqrt{70})(750)(673)$
- $\phi V_c = 884192 \text{ N} \approx 884,2 \text{ kN}$

- $V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10)
- $V_s = \frac{279,3 - 884,2}{0,75} = -806,53 \text{ kN} \approx -806530 \text{ N}$
- $A_v = n \frac{\pi}{4} D_t^2$
- $A_v = (4) \frac{\pi}{4} (13)^2 = 804,57 \text{ mm}^2$
- $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10.5.3)
- $s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$
- $s = \frac{(804,6)(700)(673)}{806530} = -469,93 \text{ mm}$

Spasi minimum untuk seluruh bentang kolom

- $s_{min1} = \frac{A_v f_y}{0,062 \sqrt{f'_c} b_w}$  (SNI 2847:2019 Ps 10.6.2.2)
- $s_{min1} = \frac{(804,6)(700)}{0,062(\sqrt{70})(750)} = 1447,69 \text{ mm}$
- $s_{min2} = \frac{A_v f_y}{0,35 b_w}$
- $s_{min2} = \frac{(804,6)(700)}{0,35(750)} = 2145,6 \text{ mm}$
- $s_{min3} = 6 D_l = 6(22) = 132 \text{ mm}$  (SNI 2847:2019 Ps 18.7.5.5)
- $s_{min4} = 150 \text{ mm}$
- $s_{min} = 132 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$

Lokasi sendi plastis  $l_o$

- $l_o = h = 650 \text{ mm} \rightarrow \text{menentukan}$
- $l_o = \frac{1}{6} h_n = \frac{1}{6} (3550) = 591,67 \text{ mm}$  (SNI 2847:2019 Ps. 18.7.5.1)
- $l_o = 450 \text{ mm}$

Spasi tulangan geser diluar sendi plastis

- $s = \frac{1}{4} h = \frac{1}{4} (750) = 187,5 \text{ mm}$
- $s = 6 D_l = 6(22) = 132 \text{ mm}$
- $s = 132 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$
- $h_x = \frac{d_c - 2D_{lc}}{5} = \frac{762 - 2(22)}{5} = 139,67 \text{ mm}$
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - 139,67}{3} \right) = 170,11 \text{ mm}$
- $s_o = 170,11 > s = 100 \text{ mm} \rightarrow s_o = 100 \text{ mm}$

Spasi minimum untuk kolom SRPMK sepanjang sendi plastis

- $b_c = b - 2c - 2 \frac{D_{tc}}{2}$
- $b_c = 750 - 2(50) - 2 \frac{(16)}{2} = 634 \text{ mm}$
- $A_{ch} = (b_c - 2cover_c)(h_c - 2cover_c)$

- $A_{ch} = (750 - 2(50))(750 - 2(50)) = 422500 \text{ mm}^2$
- $k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 0,1$  (SNI 2847:2019 Ps. 18.7.5.4)
- $k_f = \frac{70}{175} + 0,6 \geq 0,1$
- $1 \geq 0,1 \rightarrow k_f = 1$
- $k_n = \frac{n_{lc}}{n_{lc}-2}$
- $k_n = \frac{20}{20-2} = 1,1$
- $s_1 \leq \frac{A_{sh} f_{yt}}{b_c 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) f'_c}$  (SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4)
- $s_1 \leq \frac{(530,93)(700)}{(634) 0,3 \left( \frac{562500}{422500} - 1 \right) (70)} = 88,24 \text{ mm}$
- $s_2 \leq \frac{A_{sh} f_{yt}}{0,09 b_c f'_c}$
- $s_2 \leq \frac{(530,93)(700)}{0,09(634)(70)} = 93,05 \text{ mm}$
- $s_3 \leq \frac{A_{sh} f_{yt} A_{ch}}{b_c 0,2 k_f k_n P_u}$
- $s_3 \leq \frac{(530,93)(700)(422500)}{(634)(0,2)(1)(1,1)(5056880)} = 222,62 \text{ mm}$
- $s = 222,62 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$

#### Kontrol Batasan Penampang

- $\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d_c} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$  (SNI 2847:2019 Ps 22.7.7.1)
- $\sqrt{\left( \frac{279340}{(750)(762)} \right)^2 + \left( \frac{(0)(2536)}{1,7(401956)^2} \right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{279340}{(750)(762)} + 0,66 \sqrt{70} \right)$
- $0,488 \leq 4,508 \rightarrow \text{OK}$

#### 6.2.2 Pendetailan Tulangan

##### 1. Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019

Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.

##### 2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019

Pasal 25.4.1.4 Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ):

- Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$c. \frac{f_y \phi_t \phi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} db = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

$$d. 300 \text{ mm}$$

- Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3

$$\frac{f'_c}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\phi_t \phi_e \phi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{db}} db = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$l_d \max = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ) sebesar 1100 mm

3. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik  $l_{dh}$  batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan  $l_{dh}$  berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \quad (\text{Tabel 25.4.3.2})$$

$$\Psi_r = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$db = 25 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran Tarik " $l_{dh}$ " dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_e \phi_c \phi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \times db = \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm}$$

$$b. 8db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$c. 150 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran "kait" kondisi tarik ( $l_{dh}$ ) adalah 298,17 mm

4. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran  $l_{dh}$ :

Diketahui:

$$db = 22 \text{ mm}$$

- a. Kait harus dilingkupi sepanjang  $l_{dh}$  dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan spasi  $S \leq 3db$

$$S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

- b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak  $2db$  disisi terluar bengkokan

$$S = 2db = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

- c.  $\Psi_r$  harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan  $l_{dh}$  sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)

Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat  $l_{dh} = 298,17 \text{ mm}$

5. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran  $l_{dc}$  untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir "tekan" dihitung berdasarkan:

- Pasal 25.4.9.1.

- a. Hasil dari Pasal 25.4.9.2.

- b. 200mm
- Pasal 25.4.9.2
  - a.  $\frac{0,24 f_y \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} db = \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm}$
  - b.  $0,043 f_y \phi_r db = 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan “l<sub>dc</sub>” adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

6. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:

- a. 40 mm
- b.  $1,5 db = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$
- c.  $4/3 d \text{ agregat} = 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm}$  (asumsi d agregat = 20 mm)

7. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5

Sambungan lewatan untuk kolom

Kondisi Tarik

- $l_{st} = 1,3 l_d$  (SNI 2847:2019 Ps 25.5.2.1)
- $l_{st} = 1,3 \times 793,45 = 1031,5 \text{ mm}$
- $l_{st} = 300 \text{ mm}$

Kondisi Tekan

- $l_{sc} = 0,071 f_y d_b$  (SNI 2847:2019 Ps 25.5.5.1)
- $l_{sc} = 0,071 \times 420 \times 19 = 566,58 \text{ mm}$
- Maka  $l_s = 300 \text{ mm}$

8. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:

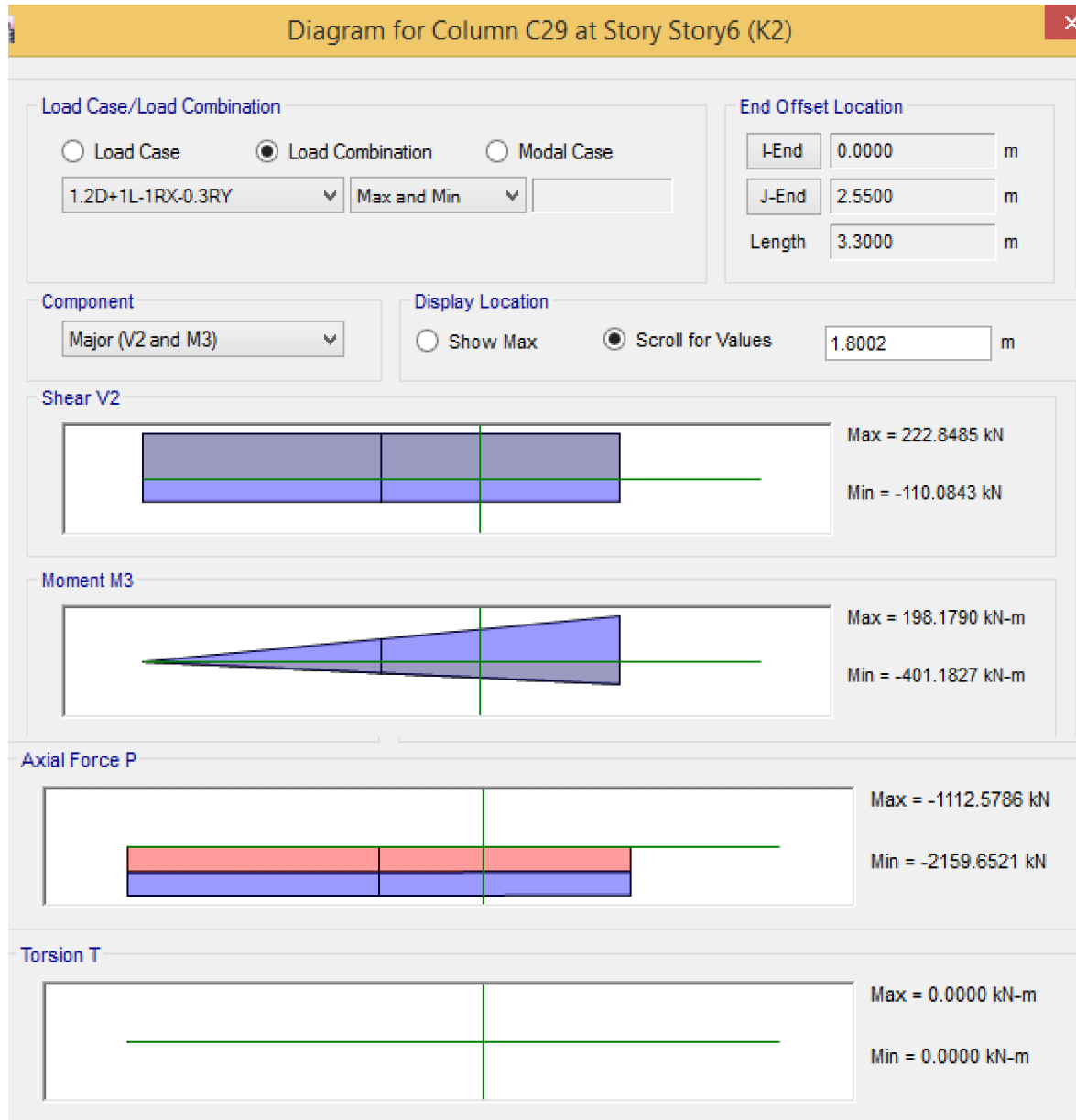
$$1,25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$$

Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit 750 mm.

9. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3

Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu = 100 mm

### 6.2.3 Kolom K2



Gambar 6.7 Diagram Momen, Geser dan Torsi Kolom Tipe K2

Dari hasil permodelan ETABS didapatkan beban pada kolom lantai 1 sebagai berikut :

- $P_u = 2159,65 \text{ kN}$
- $V_u = 222,85 \text{ kN}$
- $T_u = 0 \text{ kN}$

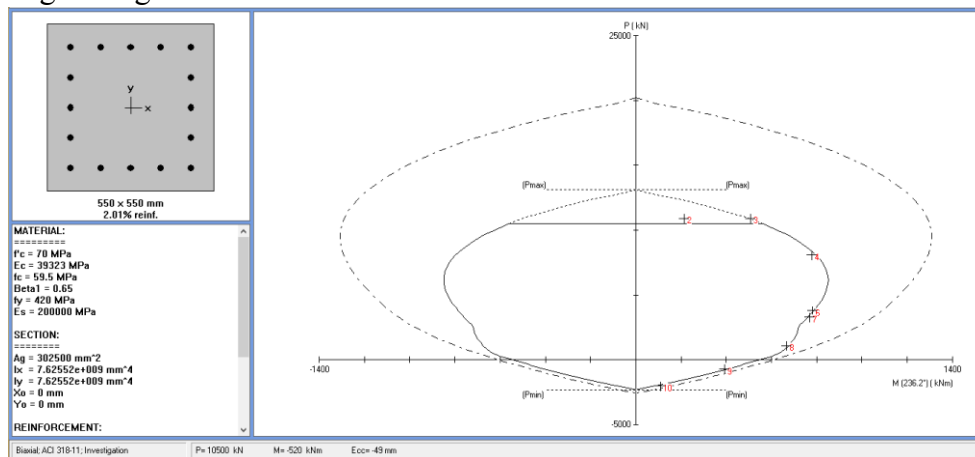
Diketahui data-data kolom sebagai berikut :

- $L = 3300 \text{ mm}$
- $b = 550 \text{ mm}$
- $h = 550 \text{ mm}$
- $cover = 50 \text{ mm}$  (SNI 2847-2019, Tabel 20.6.1.3.1)
- $f'_c = 70 \text{ MPa}$
- $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$  (SNI 2847-2019, Ps. 20.2.2.2)
- $E_c = 4700\sqrt{70} = 39323,02 \text{ MPa}$
- $E_s = 200000 \text{ MPa}$

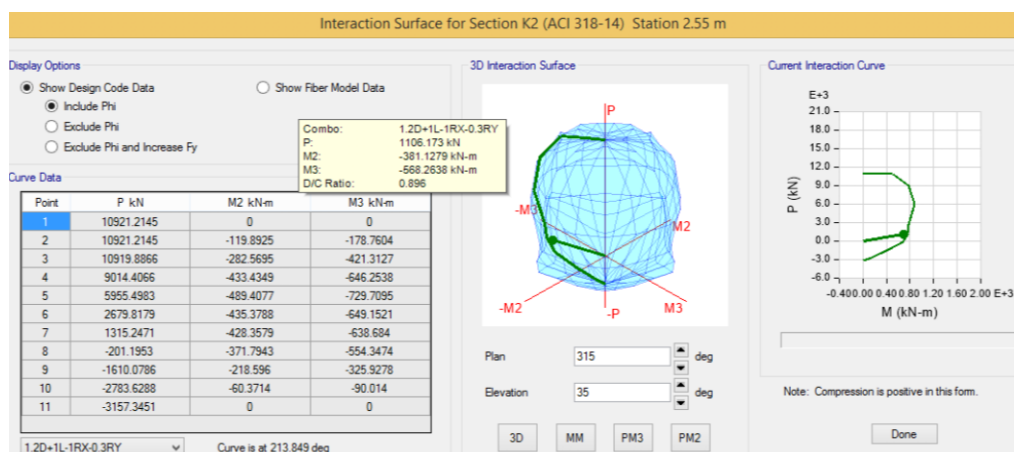
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
  - $f_{yt} = 700 \text{ MPa}$
  - $\beta_1 = 0,65$
  - $\lambda = 1$  (Beton Normal)
  - $h_n = L - \left( \frac{h_{balok\ atas}}{2} + \frac{h_{balok\ bawah}}{2} \right)$
  - $h_n = 3300 - \left( \frac{750}{2} + \frac{750}{2} \right) = 3550 \text{ mm}$
  - $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2}$
  - $d = 550 - 50 - 16 - \frac{22}{2} = 673 \text{ mm}$
  - $A_g = bh = (550)(550) = 302500 \text{ mm}^2$
  - $A_{cp} = A_g = 562500 \text{ mm}^2$
  - $P_{cp} = 2(b + h) = 2(550 + 550) = 3000 \text{ mm}$
- (SNI 2847-2019, Ps.22.2.2.4.3)  
(SNI 2847-2019, Tabel.19.2.4.2)

### Perhitungan Tulangan Lentur

Pada perhitungan tulangan lentur menggunakan program bantu SPColumn dengan menginput gaya aksial dan momen dari ETABS, dan direncanakan menggunakan dimensi 550 x 550 mm dengan tulangan longitudinal 16D22.



Gambar 6.8 Hasil SPColumn kurva interaksi kolom tipe K2



Gambar 6.9 Hasil ETABS kurva interaksi kolom tipe K2

Didapatkan hasil input beban untuk arah x, arah y dan biaxial pada SPColumn sebagai berikut :

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMnx kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu	NA depth mm	Dt depth mm	eps_t	Phi
1	10421.21	0.00	0.00	571.91	0.00	999.999	675	473	-0.00090	0.650
2	10421.21	-119.89	-178.76	-318.28	-474.55	2.655	808	649	-0.00059	0.650
3	10421.21	-282.57	-421.31	-318.28	-474.56	1.126	808	649	-0.00059	0.650
4	8014.41	-433.43	-646.25	-445.98	-664.96	1.029	667	660	-0.00003	0.650
5	5955.50	-489.41	-500.71	-587.39	-600.96	1.200	568	666	0.00052	0.650
6	3879.82	-435.38	-649.15	-439.66	-655.53	1.010	452	657	0.00136	0.650
7	3315.25	-428.36	-638.68	-423.55	-631.51	0.989	421	655	0.00167	0.650
8	1100.20	-371.79	-554.35	-376.85	-561.89	1.014	279	645	0.00394	0.809
9	-761.01	-218.60	-325.93	-218.21	-325.35	0.998	160	617	0.00857	0.900
10	-2083.63	-60.37	-90.01	-37.73	-56.26	0.625	48	537	0.04144	0.900
11	-2157.34	0.00	0.00	38.87	0.00	999.999	7	473	0.18750	0.900

Gambar 6.10 Hasil input beban untuk arah biaxial pada SPColumn

Didapatkan:

$$\phi M_{n_x} = 1700,44 \text{ kN.m}$$

$$M_{nc_x} = \frac{\phi M_{n_x}}{\phi} = \frac{1700,44}{0,65} = 2616,06 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_{n_y} = 1700,44 \text{ kN.m}$$

$$M_{nc_y} = \frac{\phi M_{n_y}}{\phi} = \frac{1608,28}{0,65} = 2474,28 \text{ kN.m}$$

Tulangan Longitudinal

$$D_l = 22 \text{ mm}$$

$$A_l = \pi \frac{D_l^2}{4} = \pi \frac{(22)^2}{4} = 390,28 \text{ mm}^2$$

$$n_l = 20 \text{ buah}$$

$$A_{sl} = n A_l = 20(390,28)$$

$$A_{sl} = 7805,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{oh} = \left(b - 2c - 2\frac{D_t}{2}\right) \left(h - 2c - 2\frac{D_t}{2}\right)$$

$$A_{oh} = \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right) \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right)$$

$$A_{oh} = 401956 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 A_{oh} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.7.6.1.1})$$

$$A_o = 401956 = 401956 \text{ mm}^2$$

$$P_h = \left(b - 2c - 2\frac{D}{2}\right) + \left(h - 2c - 2\frac{D}{2}\right)$$

$$P_h = 2 \left( \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right) + \left(750 - 2(50) - 2\frac{(16)}{2}\right) \right)$$

$$P_h = 2536 \text{ mm}$$

Kontrol Luas Tulangan Longitudinal Torsi :

$$0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 18.7.4.2})$$

$$0,01 (562500) < 7805,6 < 0,06 (562500)$$

$$5625 \text{ mm}^2 < 7805,6 \text{ mm}^2 < 33750 \text{ mm}^2 \rightarrow OK$$

Kontrol Akibat Beban  $P_u$  (SNI 2847-2019, Ps. 22.4.2.2)

$$D_t = 16 \text{ mm}$$

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{sl}) + f_y A_{sl}$$

$$P_o = 0,85(70)((562500) - (7805,6)) + (420)(7805,6)$$

$$P_o = 36282669 \text{ N} \approx 36282 \text{ kN}$$

$$P_{n \max} = 0,8 P_o = 0,8(36282) = 29025,6 \text{ kN} > P_u = 5056,88 \text{ kN (OK)}$$

Perhitungan Tulangan Torsi



$$\phi T_{th} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{P_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}} \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 22.7.1.1})$$

$$\phi T_{th} = (0,8)0,083(1)\sqrt{70} \left( \frac{562500^2}{3000} \right) \sqrt{1 + \frac{5056880}{0,33 (562500)(1)\sqrt{70}}} = 240,37 \text{ kN.m}$$

$$T_u = 0 \text{ kN.m} < \phi T_{th} = 240,37 \text{ kN.m} \rightarrow \text{tidak butuh tulangan torsi minimum}$$

### Perhitungan Tulangan Geser

#### Column Hinging

$$- V_{sway_1} = \frac{M_{ncx} + M_{ncy}}{h_n} = \frac{(2616 + 2474)}{3,55} = 1433 \text{ kN} \quad (\text{SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1})$$

#### Beam Hinging

$$\begin{aligned} - M_{pr_1} &= -907,58 \text{ kN.m} \\ - M_{pr_2} &= 617,57 \text{ kN.m} \\ - V_{sway_2} &= \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{h_n} = \frac{907,58 + 617,57}{3,55} = 429 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai  $V_c$  dianggap 0

$$\begin{aligned} - V_{sway_2} &\geq 0,5V_u & (\text{SNI 2847:2019 Ps 18.7.6.2.1}) \\ - 429 &\geq 0,5(279,34) \\ - 429 \text{ kN} &\geq 139,67 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \\ - 0,05f'_c A_g &\geq P_u \\ - 0,05(70)(562500) &\geq 5056,88 \text{ kN} \\ - 1968,75 \text{ kN} &\geq 5056,88 \text{ kN} \rightarrow \text{NOT OK} \end{aligned}$$

$$- \phi V_c = \phi 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 22.5.6.1})$$

$$- \phi V_c = (0,75)0,17 \left( 1 + \frac{5056880}{14(562500)} \right) (1)(\sqrt{70})(750)(673)$$

$$- \phi V_c = 884192 \text{ N} \approx 884,2 \text{ kN}$$

$$- V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10})$$

$$- V_s = \frac{279,3 - 884,2}{0,75} = -806,53 \text{ kN} \approx -806530 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan 4 kaki dengan Ø16

$$- A_v = n \frac{\pi}{4} D_t^2$$

$$- A_v = (4) \frac{\pi}{4} (16)^2 = 804,57 \text{ mm}^2$$

$$- V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (\text{SNI 2847-2019, Ps. 22.5.10.5.3})$$

$$- s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$$

$$- s = \frac{(804,6)(700)(673)}{806530} = -469,93 \text{ mm}$$

Spasi minimum diluar sendi plastis  $l_o$

$$- s_{min1} = \frac{A_v f_y}{0,062 \sqrt{f'_c} b_w} \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 10.6.2.2})$$

$$- s_{min1} = \frac{(804,6)(700)}{0,062(\sqrt{70})(750)} = 1447,69 \text{ mm}$$

- $s_{min2} = \frac{A_v f_y}{0,35 b_w} = \frac{(804,6)(700)}{0,35(750)} = 2145,6 \text{ mm}$
- $s_{min3} = 6 D_l = 6(22) = 132 \text{ mm}$  (SNI 2847:2019 Ps 18.7.5.5)
- $s_{min4} = 150 \text{ mm}$
- $s_{min} = 132 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$
- $h_x = \frac{d_c - 2D_{lc}}{5} = \frac{762 - 2(22)}{5} = 139,67 \text{ mm}$
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - 139,67}{3} \right) = 170,11 \text{ mm}$
- $s_o = 170,11 > s = 100 \text{ mm} \rightarrow s_o = 100 \text{ mm}$

Spasi minimum untuk kolom SRPMK disepanjang sendi plastis

- $b_c = b - 2c - 2 \frac{D_{tc}}{2}$
- $b_c = 750 - 2(50) - 2 \frac{(16)}{2} = 634 \text{ mm}$
- $A_{ch} = (b_c - 2cover_c)(h_c - 2cover_c)$
- $A_{ch} = (750 - 2(50))(750 - 2(50)) = 422500 \text{ mm}^2$
- $k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 0,1$  (SNI 2847:2019 Ps. 18.7.5.4)
- $k_f = \frac{70}{175} + 0,6 \geq 0,1$
- $1 \geq 0,1 \rightarrow k_f = 1$
- $k_n = \frac{n_{lc}}{n_{lc} - 2}$
- $k_n = \frac{20}{20 - 2} = 1,1$
- $s_1 \leq \frac{A_{sh} f_{yt}}{b_c 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) f'_c}$  (SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4)
- $s_1 \leq \frac{(530,93)(700)}{(634) 0,3 \left( \frac{562500}{422500} - 1 \right) (70)} = 88,24 \text{ mm}$
- $s_2 \leq \frac{A_{sh} f_{yt}}{0,09 b_c f'_c}$
- $s_2 \leq \frac{(530,93)(700)}{0,09(634)(70)} = 93,05 \text{ mm}$
- $s_3 \leq \frac{A_{sh} f_{yt} A_{ch}}{b_c 0,2 k_f k_n P_u}$
- $s_3 \leq \frac{(530,93)(700)(422500)}{(634)(0,2)(1)(1,1)(5056880)} = 222,62 \text{ mm}$
- $s = 222,62 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$

Lokasi sendi plastis,  $l_o$

- $l_o = h = 650 \text{ mm}$
- $l_o = \frac{1}{6} h_n = \frac{1}{6} (3550) = 591,67 \text{ mm}$  (SNI 2847:2019 Ps. 18.7.5.1)
- $l_o = 450 \text{ mm} \rightarrow \text{menentukan}$

Spasi minimum pada sendi plastis  $l_o$

- $s = \frac{1}{4} h = \frac{1}{4} (750) = 187,5 \text{ mm}$
- $s = 6 D_l = 6(22) = 132 \text{ mm}$

$$- s = 132 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Kontrol Batasan Penampang

$$- \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d_c}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right) \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 22.7.7.1})$$

$$- \sqrt{\left(\frac{279340}{(750)(762)}\right)^2 + \left(\frac{(0)(2536)}{1,7(401956)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{279340}{(750)(762)} + 0,66 \sqrt{70}\right)$$

$$- 0,488 \leq 4,508 \rightarrow \text{OK}$$

#### 6.2.4 Pendetailan Tulangan

##### 1. Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019

Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.

##### 2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019

##### 3. Pasal 25.4.1.4 Nilai $\sqrt{f'_c}$ yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ):

##### - Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$c. \frac{f_y \phi_t \phi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

$$d. 300 \text{ mm}$$

##### - Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3

$$\frac{f'_c}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\phi_t \phi_e \phi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ max} = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ) sebesar 1100 mm

##### 4. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik $l_{dh}$ batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan $l_{dh}$ berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \quad (\text{Tabel 25.4.3.2})$$

$$\begin{aligned}\Psi_r &= 1 \\ f'_c &= 35 \text{ MPa} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} \\ d_b &= 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang penyaluran Tarik “ldh” dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$\begin{aligned}\text{a. } \frac{0,24 f_y \phi_e \phi_c \phi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \times d_b &= \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm} \\ \text{b. } 8d_b &= 8 \times 25 = 200 \text{ mm} \\ \text{c. } 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, panjang penyaluran “kait” kondisi tarik (ldh) adalah 298,17 mm

5. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran ldh:

Diketahui:

$$\begin{aligned}d_b &= 22 \text{ mm} \\ \text{a. Kait harus dilingkupi sepanjang ldh dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan} \\ &\text{spasi } S \leq 3d_b \\ &S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm} \\ \text{b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak } 2d_b \text{ disisi terluar} \\ &\text{bengkokan} \\ &S = 2d_b = 2 \times 25 = 50 \text{ mm} \\ \text{c. } \Psi_r \text{ harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan ldh sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)} \\ &\text{Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat ldh} = 298,17 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran ldc untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir “tekan” dihitung berdasarkan:

$$\begin{aligned}- \text{ Pasal 25.4.9.1.} \\ \text{c. Hasil dari Pasal 25.4.9.2.} \\ \text{d. } 200 \text{ mm} \\ - \text{ Pasal 25.4.9.2} \\ \text{c. } \frac{0,24 f_y \phi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b &= \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm} \\ \text{d. } 0,043 f_y \phi_r d_b &= 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan “ldc” adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

7. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:

$$\begin{aligned}\text{a. } 40 \text{ mm} \\ \text{b. } 1,5 d_b &= 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm} \\ \text{c. } 4/3 d \text{ agregat} &= 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm} \quad (\text{asumsi } d \text{ agregat} = 20 \text{ mm})\end{aligned}$$

8. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5

Sambungan lewatan untuk kolom

Kondisi Tarik

$$- l_{st} = 1,3 l_d \quad (\text{SNI 2847:2019 Ps 25.5.2.1})$$

$$- l_{st} = 1,3 \times 793,45 = 1031,5 \text{ mm}$$

$$- l_{st} = 300 \text{ mm}$$

Kondisi Tekan

$$- l_{sc} = 0,071 f_y d_b$$

(SNI 2847:2019 Ps 25.5.5.1)

$$- l_{sc} = 0,071 \times 420 \times 19 = 566,58 \text{ mm}$$

$$- \text{Maka } l_s = 300 \text{ mm}$$

9. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:

$$1.25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$$

Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit 750 mm.

10. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3

Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu = 100 mm

Tabel 6.2 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe Kolom	Tinggi	Dimensi	Tulangan Longitudinal	Lokasi	Tulangan Geser
	(mm)	(mm x mm)			
K1	4300	750 x 750	20 D22	Sepanjang $l_o$	5 kaki D13 - 200
				Diluar $l_o$	5 kaki D13 - 100
K2	3300	550 x 550	16 D22	Sepanjang $l_o$	4 kaki D13 - 200
				Diluar $l_o$	4 kaki D13 - 100

### 6.3 Hubungan Balok Kolom

#### 6.3.1 Hubungan Balok Kolom Interior

##### 6.3.1.1 Hubungan Balok Kolom Interior Arah X

Dimensi Balok BI 1 :

- $b_b = 550 \text{ mm}$
- $h_b = 750 \text{ mm}$
- $L = 8000 \text{ mm}$
- $c = 50 \text{ mm}$

Tulangan Lentur Atas :

- $D_{l_b} = 25 \text{ mm}$
- $A_{sl} = 491,07 \text{ mm}^2$
- $n_{lapis} = 1 \text{ lapis}$
- $n_{l_b} = 2 \text{ buah}$
- $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A'_{sl} = 982,142 \text{ mm}^2$
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $M_{nb_{ka}} = 1002,3 \text{ kN.m}$
- $M_{nb_{ki}} = M_{nb_{ka}} = 1002,3 \text{ kN.m}$
- $\alpha_{pr_{ka}} = \frac{A'_{sl} (1,25 f_y)}{0,85 f'_c b} = \frac{982,142 (1,25 (420))}{0,85 (40) (550)} = 27,57$
- $M_{pr_1} = 1,25 A'_{sl} f_y \left( d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right) = 1,25 (982,142) (420) \left( 574,5 - \frac{27,57}{2} \right) = 289,12 \text{ kN.m}$
- $M_{pr_2} = M_{pr_1} = 289,12 \text{ kN.m}$

Tulangan Sengkang Balok BI 1

- $\phi = 13 \text{ mm}$
- $A_v = 132,785 \text{ mm}^2$
- $f_{yt} = 280 \text{ MPa}$
- $f_{ut} = 350 \text{ MPa}$

Kolom di Atas HBK

- $L = 3300 \text{ mm}$
- $b = 550 \text{ mm}$
- $h = 550 \text{ mm}$
- $A_g = bh = (550)(550) = 302500 \text{ mm}^2$
- Tulangan Longitudinal
- $D_l = 22 \text{ mm}$
- Tulangan Transversal
- $D_t = 16 \text{ mm}$
- $M_{ncx_1} = 912 \text{ kN.m}$

Kolom di Bawah HBK

- $L = 4300 \text{ mm}$
- $b_c = 750 \text{ mm}$
- $h_c = 750 \text{ mm}$

- $c_c = 50 \text{ mm}$
- $A_g = bh = (750)(750) = 562500 \text{ mm}^2$

Tulangan Longitudinal

- $D_{l_c} = 22 \text{ mm}$
- $n_{l_c} = 20 \text{ buah}$

Tulangan Transversal

- $D_{t_c} = 16 \text{ mm}$
- $d_c = h_c - \text{cover} - \phi - \frac{D_{l_c}}{2}$
- $d_c = 750 - 50 - 16 - \frac{22}{2} = 762 \text{ mm}$
- $M_{ncx_2} = 2616,06 \text{ kN.m}$

Panjang Penyaluran Balok

- $\Psi_t = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.2.4)
- $\Psi_e = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.2.4)
- $\Psi_c = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.3.2)
- $\Psi_r = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.3.2)
- $l_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = \left( \frac{(420)(1)(1)}{1,7(1)\sqrt{40}} \right) (13) = 507 \text{ mm} \rightarrow \text{menentukan}$
- $l_d = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = \left( \frac{0,24(420)(1)(1)(1)}{(1)(\sqrt{40})} \right) (13) = 207,19 \text{ mm}$

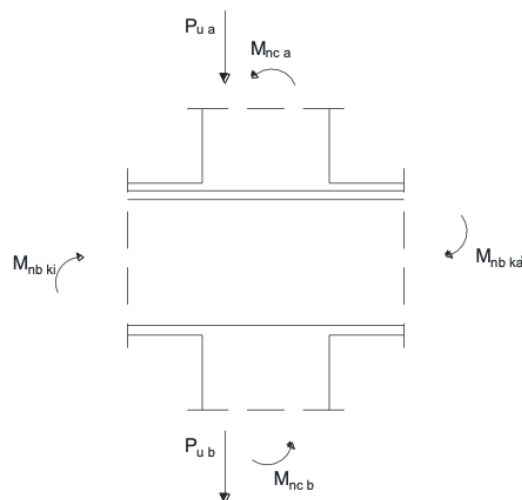
Perhitungan Strong Column Weak Beam

- Momen Nominal Kolom di Atas HBK

$$M_{nc_1} = 912 \text{ kN.m}$$

- Momen Nominal Kolom di Bawah HBK

$$M_{nc_2} = 854 \text{ kN.m}$$



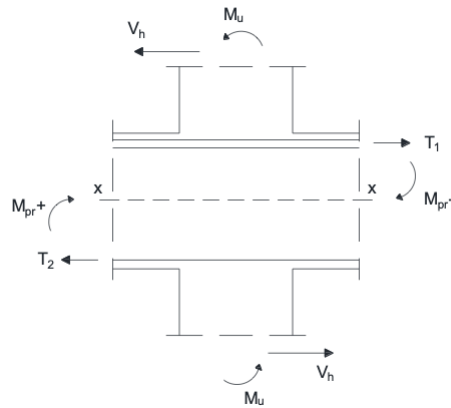
Gambar 6.11 Ilustrasi momen pada *joint* balok-kolom

$$\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$$

- $M_{nc_1} + M_{nc_2} > 1,2 (M_{nb_1} + M_{nb_2}) = 1002,3 \text{ kN.m} \rightarrow (\text{OK})$

Perhitungan Kekuatan Geser pada HBK

- $x = \frac{b_{kolom} - b_{balok}}{2} = \frac{750 - 550}{2} = 100$
- $b_{e1} = b_{balok} + h_{kolom} = 550 + 750 = 1300 \text{ mm}$
- $b_{e2} = b_{balok} + 2x = 550 + 2(100) = 750 \text{ mm}$
- $b_{e1} = 1300 \text{ mm} > b_{e2} = 750 \text{ mm} \rightarrow b_e = 750 \text{ mm}$
- $A_j = b_e h = (750)(750) = 562500 \text{ mm}^2$  (SNI 2847:2019 Ps 18.8.4.3)
- $V_n = 1,7 \lambda \sqrt{f'_c} A_j$  (SNI 2847:2019 Ps 18.8.4.1)
- $V_n = 1,7(1)(\sqrt{70})(562500) = 8000561,4 \text{ N} \approx 8000 \text{ kN}$
- $\phi V_n = 0,75(8000) = 6000 \text{ kN}$



Gambar 6.12 Ilustrasi gaya geser pada *joint* balok-kolom

- $M_{ju} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{2} = \frac{617,57 + 907,58}{2}$
- $M_{ju} = 762,58 \text{ kN.m}$
- $V_h = 2 \frac{M_u}{L} = \frac{2(289,12)}{4,3} = 134 \text{ kN}$
- $T_{1ki} = 1,25 f_y A_{s1} = 1,25(420)(982,142) = 1289,0625$
- $T_{2ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $T_{1ka} = T_{1ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $T_{2ka} = C_{1ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $V_{ju} = (V_h - T_{1ki} - T_{2ka}) = 2726,332317$
- Cek  $\phi V_n \geq V_{ju} (\text{OK})$

### 6.3.1.2 Hubungan Balok Kolom Interior Arah Y

Dimensi Balok BI 2:

- $b_b = 500 \text{ mm}$
- $h_b = 650 \text{ mm}$
- $L = 6000 \text{ mm}$
- $c = 50 \text{ mm}$



Tulangan Lentur Atas :

- $D_{l_b} = 25 \text{ mm}$
- $A_{sl} = 491,07 \text{ mm}^2$
- $n_{lapis} = 1 \text{ lapis}$
- $n_{l_b} = 2 \text{ buah}$
- $d = h - cover - \phi - \frac{D}{2} = 650 - 50 - 13 - \frac{25}{2}$
- $d = 574,5 \text{ mm}$
- $A'_{sl} = 982,142 \text{ mm}^2$
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $M_{nb_{ka}} = 1002,3 \text{ kN.m}$
- $M_{nb_{ki}} = M_{nb_{ka}} = 1002,3 \text{ kN.m}$
- $\alpha_{pr_{ka}} = \frac{A'_{sl} (1,25 f_y)}{0,85 f'_c b} = \frac{982,142 (1,25 (420))}{0,85 (40) (550)} = 27,57$
- $M_{pr_1} = 1,25 A'_{sl} f_y \left( d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right) = 1,25 (982,142) (420) \left( 574,5 - \frac{27,57}{2} \right) = 289,12 \text{ kN.m}$
- $M_{pr_2} = M_{pr_1} = 289,12 \text{ kN.m}$

Tulangan Sengkang Balok BI 2

- $\phi = 13 \text{ mm}$
- $A_v = 132,785 \text{ mm}^2$
- $f_{yt} = 280 \text{ MPa}$
- $f_{ut} = 350 \text{ MPa}$

Kolom di Atas HBK

- $L = 3300 \text{ mm}$
- $b = 550 \text{ mm}$
- $h = 550 \text{ mm}$
- $A_g = bh = (550)(550) = 302500 \text{ mm}^2$
- Tulangan Longitudinal
- $D_l = 22 \text{ mm}$
- Tulangan Transversal
- $D_t = 16 \text{ mm}$
- $M_{ncx_1} = 912 \text{ kN.m}$

Kolom di Bawah HBK

- $L = 4300 \text{ mm}$
- $b_c = 750 \text{ mm}$
- $h_c = 750 \text{ mm}$
- $c_c = 50 \text{ mm}$
- $A_g = bh = (750)(750) = 562500 \text{ mm}^2$

Tulangan Longitudinal

- $D_{l_c} = 22 \text{ mm}$
- $n_{l_c} = 20 \text{ buah}$

Tulangan Transversal

- $D_{t_c} = 16 \text{ mm}$
- $d_c = h_c - cover - \phi - \frac{D_{l_c}}{2}$

- $d_c = 750 - 50 - 16 - \frac{22}{2} = 762 \text{ mm}$
- $M_{ncx_2} = 2616,06 \text{ kN.m}$

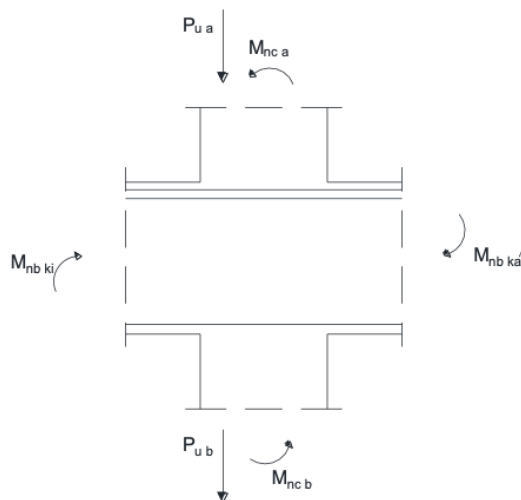
#### Panjang Penyaluran Balok

- $\Psi_t = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.2.4)
- $\Psi_e = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.2.4)
- $\Psi_c = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.3.2)
- $\Psi_r = 1$  (SNI 2847:2019 Ps 25.4.3.2)
- $l_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = \left( \frac{(420)(1)(1)}{1,7(1)\sqrt{40}} \right) (13) = 507 \text{ mm} \rightarrow \text{menentukan}$
- $l_d = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b = \left( \frac{0,24(420)(1)(1)(1)}{(1)(\sqrt{40})} \right) (13) = 207,19 \text{ mm}$

#### Perhitungan Strong Column Weak Beam

- Momen Nominal Kolom di Atas HBK  
 $M_{nc_1} = 912 \text{ kN.m}$
- Momen Nominal Kolom di Bawah HBK

$$M_{nc_2} = 854 \text{ kN.m}$$



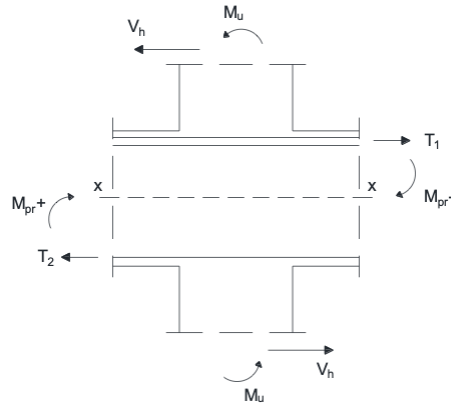
Gambar 6.13 Ilustrasi momen pada *joint* balok-kolom

- $\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$
- $M_{nc_1} + M_{nc_2} > 1,2 (M_{nb_1} + M_{nb_2}) = 1002,3 \text{ kN.m} \rightarrow (\text{OK})$

#### Perhitungan Kekuatan Geser pada HBK

- $x = \frac{b_{kolom} - b_{balok}}{2} = \frac{750 - 550}{2} = 100$
- $b_{e1} = b_{balok} + h_{kolom} = 550 + 750 = 1300 \text{ mm}$
- $b_{e2} = b_{balok} + 2x = 550 + 2(100) = 750 \text{ mm}$

- $b_{e1} = 1300 \text{ mm} > b_{e2} = 750 \text{ mm} \rightarrow b_e = 750 \text{ mm}$
- $A_j = b_e h = (750)(750) = 562500 \text{ mm}^2$  (SNI 2847:2019 Ps 18.8.4.3)
- $V_n = 1,7 \lambda \sqrt{f'_c} A_j$  (SNI 2847:2019 Ps 18.8.4.1)
- $V_n = 1,7(1)(\sqrt{70})(562500) = 8000561,4 \text{ N} \approx 8000 \text{ kN}$
- $\phi V_n = 0,75(8000) = 6000 \text{ kN}$



Gambar 6.14 Ilustrasi gaya geser pada *joint* balok-kolom

- $M_{ju} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{2} = \frac{617,57 + 907,58}{2}$
- $M_{ju} = 762,58 \text{ kN.m}$
- $V_h = 2 \frac{M_u}{L} = \frac{2(289,12)}{4,3} = 134 \text{ kN}$
- $T_{1ki} = 1,25 f_y A_{s1} = 1,25(420)(982,142) = 1289,0625$
- $T_{2ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $T_{1ka} = T_{1ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $T_{2ka} = C_{1ki} = 1546,875 \text{ kn}$
- $V_{ju} = (V_h - T_{1ki} - T_{2ka}) = 2726,332317$
- Cek  $\phi V_n \geq V_{ju}$  (OK)

### 6.3.2 Kolom K1 Mutu Normal

Diketahui data-data kolom sebagai berikut :

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$W_c = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 2400^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{35} = 29910,2 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$f_{yp} = 280 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 420 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$28 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} = 0,8$$

$$\lambda = 1 \text{ (Beton Normal)}$$

Tipe Kolom : Kolom Lantai 1

$$- L = 4300 \text{ mm}$$

$$- b = 750 \text{ mm}$$

$$- h = 750 \text{ mm}$$

$$- h_n = L - \left( \frac{h_{\text{balok atas}}}{2} + \frac{h_{\text{balok bawah}}}{2} \right)$$

$$- h_n = 4300 - \left( \frac{750}{2} + \frac{750}{2} \right) = 3550 \text{ mm}$$

Dari hasil permodelan SAP2000 didapatkan beban pada kolom lantai 1 sebagai berikut :

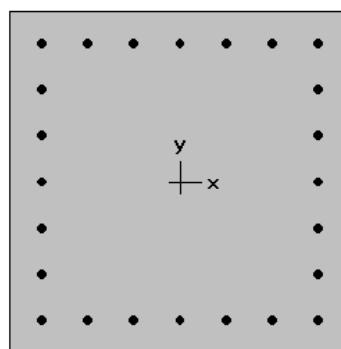
$$- P_u = 5313,67 \text{ kN}$$

$$- V_u = 250,422 \text{ kN}$$

$$- T_u = 5,9798 \text{ kN.m}$$

- Perhitungan Tulangan Lentur

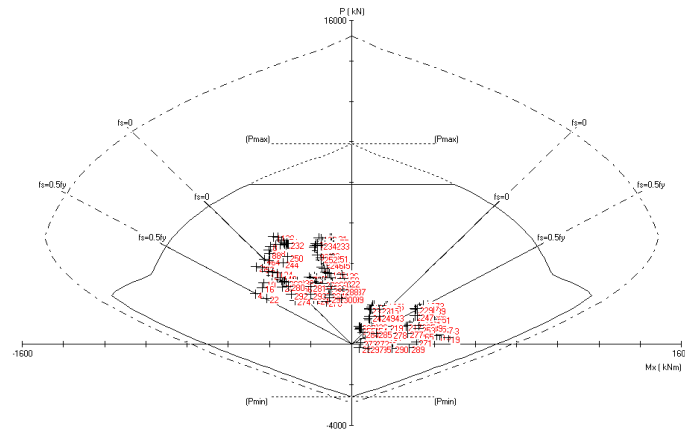
Pada perhitungan tulangan lentur menggunakan program bantu SPColumn dengan menginput gaya aksial dan momen dari ETABS, dan direncanakan menggunakan dimensi 750 X 750 mm dengan tulangan longitudinal 24D19.



Gambar 6.15 Penampang Kolom Lantai 1

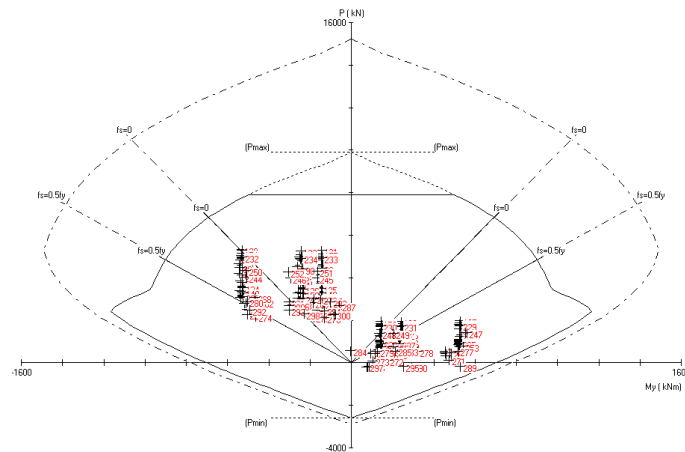
Didapatkan hasil input beban untuk arah x, arah y dan biaxial pada SPColumn sebagai berikut :

- Arah X



Gambar 6.16 Hasil SPColumn Arah X Kolom Lantai 1  
Didapatkan Mnc Kolom Arah X = 854 kN.m

- Arah Y



Didapatkan Mnc Kolom Arah Y = 840 kN.m

- Biaxial

Digunakan dimensi kolom sebagai berikut :

$$A_g = b \times h = 750 \times 750 = 422500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = A_g = 422500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (750 + 750) = 2600 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tul. Longitudinal } (D_l) = 22 \text{ mm}$$

$$A_l = \frac{\pi}{4} 22^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tul. Longitudinal} = 24 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter Tul. Transversal } (D_t) = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = 24 \cdot \frac{\pi}{4} 16^2 = 6804,69 \text{ mm}^2$$

$$A_{oh} = \left( b - 2c - 2 \frac{D_t}{2} \right) \times \left( h - 2c - 2 \frac{D_t}{2} \right)$$

$$A_{oh} = \left( 650 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2} \right) \times \left( 650 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2} \right) = 310249 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 310249 = 263711,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = \left( b - 2c - 2 \frac{D_t}{2} \right) + \left( h - 2c - 2 \frac{D_t}{2} \right)$$

$$P_h = 2 \times \left( \left( 650 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2} \right) + \left( 650 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2} \right) \right) = 2228 \text{ mm}$$

Kontrol Luas Tulangan menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.2, sebagai berikut :

$$0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g$$

$$4225 \text{ mm}^2 < 6804,69 \text{ mm}^2 < 25350 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Manual akibat beban Pu menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2. Dengan menggunakan Senggang persegi, perhitungan control manual adalah sebagai berikut :

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{sl}) + f_y \cdot A_{sl}$$

$$P_o = 0,85 \cdot 35 (422500 - 6804,69) + 420 \cdot 6804,69 = 15224905,27 \text{ N} = 15224,9 \text{ kN}$$

$$P_o = 15224,9 \text{ kN}$$

$$P_{n \max} = 0,8 P_o = 0,8 \times 15224,9 = 12179,92 \text{ kN} > P_u = 5313,67 \text{ kN (OK)}$$

- Perhitungan Tulangan Torsi

Perhitungan tulangan torsi pada kolom dihitung menggunakan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.1.1. Berikut perhitungan kebutuhan tulangan torsi kolom :

$$\phi T_{th} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{P_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$$

$$\phi T_{th} = 0,75 \cdot 0.083 \cdot 1 \sqrt{35} \left( \frac{422500^2}{2600} \right) \sqrt{1 + \frac{5313669}{0,33 \cdot 422500 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}}} = 68,995 \text{ kN}$$

$$T_u = 5,9798 \text{ kN.m} < \phi T_{th} = 68,995 \text{ kN.m}$$

Jika  $T_u < \phi T_{th}$  maka digunakan tulangan torsi minimum sebagai berikut :

$$A_l \text{ akibat Torsi} = \frac{T_u P_h}{2 A_o f_y} = \frac{5979800 \cdot 2228}{2 \cdot 263771,65 \cdot 420} = 80,192 \text{ mm}^2 < 283,53 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya maksimum yang terjadi pada muka joint dengan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1.

- Column Hinging

$$V_{sway1} = \frac{2M_{nc}}{h_n} = \frac{2 \times 854}{3,9} = 437,95 \text{ kN}$$

- Beam Hinging

$$M_{c1} = M_{prb} = 826,69 \text{ kN.m}$$

$$M_{c2} = 0 \text{ (karena tidak ada balok di bawah kolom lantai dasar)}$$

$$V_{sway1} = \frac{M_{c1} + M_{c2}}{H_n} = \frac{826,69 + 0}{3,9} = 211,97 \text{ kN (Menentukan!!)}$$

Nilai  $V_c$  dianggap 0 jika memenuhi syarat berikut menurut Pasal 18.7.6.2.1

- $V_{sway} \geq 0.5 V_u$

$$211,97 \text{ kN} \geq 0.5 \times 250,422$$

$$211,97 \text{ kN} \geq 125,211 \text{ kN (OK)}$$

- $0.05 f'_c A_g \geq P_u$

$$0.05 \times 35 \times 650 \times 650 \geq 5313,67 \text{ kN}$$

$$739,375 \text{ kN} \geq 5313,67 \text{ kN (NOT OK)}$$

Sehingga nilai  $V_c$  diperhitungkan dalam perencanaan tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1

$$\phi V_c = \phi 0.17 x \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 0,17 \times \left( 1 + \frac{5313,67 \times 10^3}{14 \times 650 \times 650} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 650 \times 603,5 = 561705,15 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 561,705 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{250,422 - 561,705}{0,75} = -415,04 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Direncanakan menggunakan 4 kaki dengan Ø13

$$A_v = 4 \frac{\pi}{4} 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{530,93 \cdot 420 \cdot 603,5}{-415044} = -324,24 \text{ mm (Pakai } s \text{ minimum)}$$

Spasi minimum untuk seluruh bentang kolom menurut SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2 dan 18.7.5.5 adalah sebagai berikut :

- $s_{min1} = \frac{A_v \times f_y}{0,062 \sqrt{f'_c} b_w}$
- $s_{min1} = \frac{530,93 \times 420}{0,062 \sqrt{35} 650} = 935,3 \text{ mm}$
- $s_{min2} = \frac{A_v \times f_y}{0,35 b_w}$
- $s_{min2} = \frac{530,93 \times 420}{0,35 650} = 980,177 \text{ mm}$
- $s_{min3} = 6 D_l = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$
- $s_{min4} = 150 \text{ mm}$

$$s_{min} = 114 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Spasi minimum sepanjang sendi plastis ( $l_o$ ) menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 adalah sebagai berikut :

Panjang sendi plastis ( $l_o$ ) untuk bentang kolom :

- $l_o = h = 650 \text{ mm}$
- $l_o = \frac{1}{6} h_n = \frac{1}{6} 3900 = 650 \text{ mm (Menentukan)}$
- $l_o = 450 \text{ mm}$

Spasi minimum pada sendi plastis ( $l_o$ ) :

Spasi minimum untuk kolom dengan sistem pemikul momen khusus menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4 adalah sebagai berikut :

$$b_c = b - 2c - 2 \frac{D_t}{2}$$

$$b_c = 650 - 2 \times 40 - 2 \frac{19}{2} = 557 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (b - 2c) \times (h - 2c)$$

$$A_{ch} = (650 - 2 \times 40) \times (750 - 2 \times 40) = 324900 \text{ mm}^2$$

Dengan  $f'_c < 70 \text{ MPa}$ , maka digunakan rumus sebagai berikut :

- $s_1 \leq \frac{A_{sh} \times f_y}{0,3 b_c f'_c \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)}$
- $s_1 \leq \frac{530,93 \times 420}{0,3 557 35 \left( \frac{422500}{324900} - 1 \right)} = 126,92 \text{ mm (Menentukan)}$
- $s_2 \leq \frac{A_{sh} \times f_y}{0,09 b_c f'_c}$

- $s_2 \leq \frac{530,93 \times 420}{0,09 \times 557,35} = 127,09 \text{ mm}$
- $s = \frac{1}{4} \text{ Dimensi terkecil penampang kolom} = \frac{1}{4} 650 = 162,5 \text{ mm}$
- $s = 6 D_l = 6 \times 22 = 114 \text{ mm (Menentukan)}$
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right), h_x = , \text{ maka } s_o = 100 + \left( \frac{350 - 87,5}{3} \right) = 187,5 \text{ mm}$

Sehingga, digunakan  $s = 200 \text{ mm}$  sepanjang kolom untuk memenuhi kebutuhan akibat sistem rangka pemikul momen khusus.

- Kontrol Batasan Penampang menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.7.7.1

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left( \frac{250422}{650 \cdot 603,5} \right)^2 + \left( \frac{597980 \times 2228}{1,7 \cdot 310249^2} \right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{561,705}{0,75 \times 650 \times 603,5} + 0,66 \sqrt{35} \right)$$

$$0,64355 \leq 4,36 \text{ (OK)}$$

### 6.3.3 Pendetailan Tulangan

1. **Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019**  
**Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.**

2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019
3. Pasal 25.4.1.4 Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ):

- Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$\text{a. } \frac{f_y \phi_t \phi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 300 \text{ mm}$$

- Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3



$$\frac{f'c}{1,1 \lambda \sqrt{f'c}} \frac{\varphi_t \varphi_e \varphi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$l_d \max = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ) sebesar 1100 mm

4. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik  $l_d$  batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan  $l_d$  berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \quad (\text{Tabel 25.4.3.2})$$

$$\Psi_r = 1$$

$$f'c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran Tarik " $l_d$ " dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$a. \frac{0,24 f_y \varphi_e \varphi_c \varphi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} \times d_b = \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm}$$

$$b. 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$c. 150 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran "kait" kondisi tarik ( $l_d$ ) adalah 298,17 mm

5. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran  $l_d$ :

Diketahui:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- a. Kait harus dilingkupi sepanjang  $l_d$  dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan spasi  $S \leq 3d_b$

$$S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

- b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak  $2d_b$  disisi terluar bengkokan

$$S = 2d_b = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

- c.  $\Psi_r$  harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan  $l_d$  sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)

Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat  $l_d = 298,17 \text{ mm}$

6. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran  $l_{dc}$  untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir "tekan" dihitung berdasarkan:

- Pasal 25.4.9.1.

$$e. \text{ Hasil dari Pasal 25.4.9.2.}$$

$$f. 200 \text{ mm}$$

- Pasal 25.4.9.2

$$e. \frac{0,24 f_y \varphi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} d_b = \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm}$$

$$f. 0,043 f_y \varphi_r d_b = 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}$$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan " $l_{dc}$ " adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

7. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:
- 40 mm
  - $1,5 db = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$
  - $4/3 d \text{ agregat} = 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm}$  (asumsi d agregat = 20 mm)
8. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5
- Pasal 25.5.2.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi Tarik (lst)  
Diketahui:  
 $As \text{ terpasang} = 5887,5 \text{ mm}^2$   
 $As \text{ perlu} = 3600 \text{ mm}^2$   
 $\frac{Ast}{Asp} = \frac{5887,5}{3600} = 1.64 < 2$   
 Digunakan tipe sambungan lewatan kelas B, maka lst adalah nilai terbesar dari:
    - $1.3 ld = 1,3 \times 1098,70 = 1428,3 \text{ mm}$
    - 300 mm
 Maka nilai lst adalah 1428,3 mm.
  - Pasal 25.5.5.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir kondisi tekan ( $f_y = 420$ ) adalah nilai terbesar dari:
    - $0.071 f_y db = 0.071 \times 420 \times 25 = 745,5 \text{ mm}$
    - 300 mm
 Maka nilai lsc adalah 745,5 mm.  
 Pasal 10.7.5.2.1 Faktor pengurangan sambungan lewatan kondisi tekan:  
 $Spasi \text{ sengkang} = 150 \text{ mm}$   
 $0.0015 \cdot h \cdot s = 0,0015 \times 600 \times 150 = 135 \text{ mm}^2$   
 $Ab \text{ (luas sengkang)} = 530,66 \text{ mm}^2$   
 Kontrol  $Ab > 0.0015 h \cdot s$  (OK)  
 Faktor pengurangan sambungan lewatan adalah 0,83, sehingga:  
 $Panjang \text{ lsc terfaktor} = 0,83 \times 745,5 = 618,765 \text{ mm}$
9. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:
- $$1.25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$$
- Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit 750 mm.
10. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3
- Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu = 100 mm

#### 6.3.4 Kolom Lantai 2

Diketahui data-data kolom sebagai berikut :

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$W_c = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned}
E_c &= W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \\
E_c &= 2400^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{35} = 29910,2 \text{ MPa} \\
E_s &= 200000 \text{ MPa} \\
f_{yp} &= 280 \text{ MPa} \\
f_{yd} &= 420 \text{ MPa} \\
f'_c &= 35 \text{ MPa} \\
28 \text{ MPa} &< f'_c < 55 \text{ MPa} \\
\beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} = 0,8 \\
\lambda &= 1 \text{ (Beton Normal)} \\
\text{Tipe Kolom} &: \text{Kolom Lantai 2} \\
- h_n &= L - \left( \frac{h_{\text{balok atas}}}{2} + \frac{h_{\text{balok bawah}}}{2} \right) \\
- h_n &= 3300 - \left( \frac{750}{2} + \frac{750}{2} \right) = 3550 \text{ mm} \\
h_n &= \text{Tinggi Kolom} - \left( \frac{h_{\text{Balok}}}{2} + \frac{h_{\text{Balok}}}{2} \right) \\
h_n &= 4 - \left( \frac{600}{2} + \frac{600}{2} \right) = 3,4 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dari hasil permodelan ETABS didapatkan beban pada kolom lantai 2 sebagai berikut :

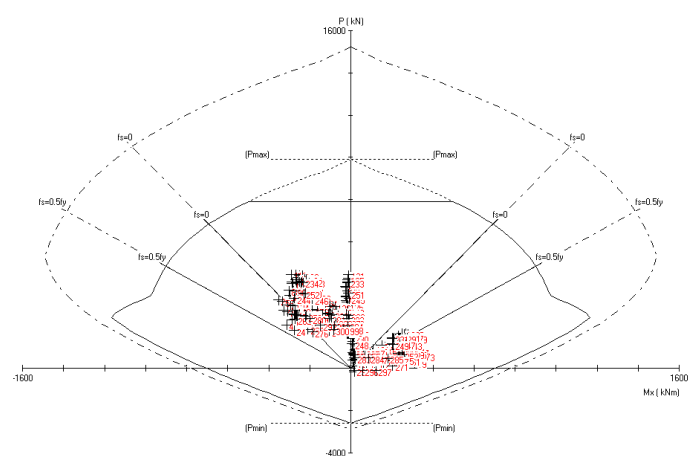
- $P_u = 4457,625 \text{ kN}$
- $V_u = 253,32 \text{ kN}$
- $T_u = 11,15 \text{ kN.m}$

- Perhitungan Tulangan Lentur

Pada perhitungan tulangan lentur menggunakan program bantu SPColumn dengan menginput gaya aksial dan momen dari ETABS, dan direncanakan menggunakan dimensi 550 X550 mm dengan tulangan longitudinal 24D19.

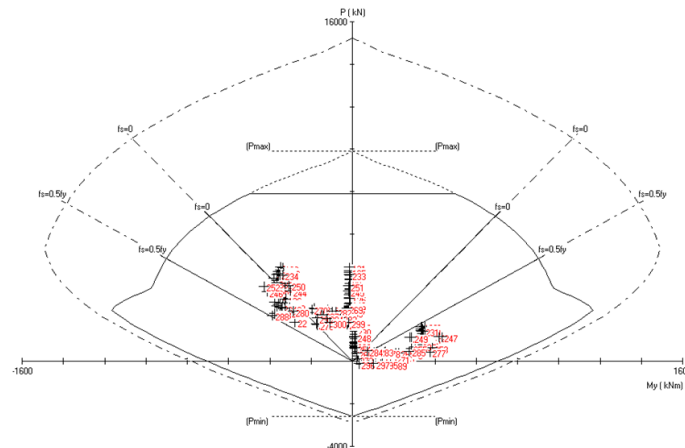
Didapatkan hasil input beban untuk arah x, arah y dan biaxial pada SPColumn sebagai berikut :

- Arah X



Gambar 6.18 Hasil SPColumn Arah X Kolom Lantai 2  
Didapatkan  $M_{nc}$  Kolom Arah X = 912 kN.m

- Arah Y



Didapatkan Mnc Kolom Arah Y = 908 kN.m

- Biaxial

Digunakan dimensi kolom sebagai berikut :

$$b = 550 \text{ mm}$$

$$h = 550 \text{ mm}$$

$$A_g = b \times h = 550 \times 550 = 422500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = A_g = 422500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (550 + 550) = 2600 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tul. Longitudinal } (D_l) = 22 \text{ mm}$$

$$A_l = \frac{\pi}{4} 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tul. Longitudinal} = 24 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter Tul. Transversal } (D_t) = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sl} = 24 \cdot \frac{\pi}{4} 19^2 = 6804,69 \text{ mm}^2$$

$$A_{oh} = \left(b - 2c - 2 \frac{D_t}{2}\right) \times \left(h - 2c - 2 \frac{D_t}{2}\right)$$

$$A_{oh} = \left(650 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2}\right) \times \left(550 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2}\right) = 310249 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 310249 = 263711,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = \left(b - 2c - 2 \frac{D_t}{2}\right) + \left(h - 2c - 2 \frac{D_t}{2}\right)$$

$$P_h = 2 \times \left(\left(550 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2}\right) + \left(550 - 2 \cdot 40 - 2 \frac{16}{2}\right)\right) = 2228 \text{ mm}$$

Kontrol Luas Tulangan menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.2, sebagai berikut :

$$0,01 A_g < A_{sl} < 0,06 A_g$$

$$4225 \text{ mm}^2 < 6804,69 \text{ mm}^2 < 25350 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Manual akibat beban Pu menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2. Dengan menggunakan Senggang persegi, perhitungan control manual adalah sebagai berikut :

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{sl}) + f_y \cdot A_{sl}$$

$$P_o = 0,85 \cdot 35 (422500 - 6804,69) + 420 \cdot 6804,69 = 15224905,27 \text{ N} = 15224,9 \text{ kN}$$

$$P_o = 15224,9 \text{ kN}$$

$$P_{n \max} = 0,8 P_o = 0,8 \times 15224,9 = 12179,92 \text{ kN} > P_u = 4457,625 \text{ kN (OK)}$$

- Perhitungan Tulangan Torsi

Perhitungan tulangan torsi pada kolom dihitung menggunakan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.1.1. Berikut perhitungan kebutuhan tulangan torsi kolom :

$$\phi T_{th} = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{P_u}{0.33 A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$$

$$\phi T_{th} = 0,75 \cdot 0.083 \cdot 1 \sqrt{35} \left( \frac{422500^2}{2600} \right) \sqrt{1 + \frac{4457625}{0,33 \cdot 422500 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}}} = 63,985 \text{ kN}$$

$$T_u = 11,15 \text{ kN.m} < \phi T_{th} = 63,985 \text{ kN.m}$$

Jika  $T_u < \phi T_{th}$  maka digunakan tulangan torsi minimum sebagai berikut :

$$A_l \text{ akibat Torsi} = \frac{T_u P_h}{2 A_o f_y} = \frac{11150600 \cdot 2228}{2 \cdot 263771,65 \cdot 420} = 149,53 \text{ mm}^2 < 283,53 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya maksimum yang terjadi pada muka joint dengan sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1.

$$V_{sway1} = \frac{2M_{nc}}{h_n} = \frac{2 \times 912}{3,4} = 536,47 \text{ kN}$$

• Beam Hinging

$$M_{c1} = M_{prb} = 826,69 \text{ kN.m}$$

$$M_{c2} = 0 \text{ ( karena tidak ada balok di bawah kolom lantai dasar )}$$

$$V_{sway1} = \frac{M_{c1} + M_{c2}}{H_n} = \frac{826,69 + 0}{3,4} = 243,14 \text{ kN (Menentukan)}$$

Nilai  $V_c$  dianggap 0 jika memenuhi syarat berikut menurut Pasal 18.7.6.2.1

$$\bullet \quad V_{sway} \geq 0.5 V_u$$

$$243,14 \text{ kN} \geq 0.5 \times 253,318$$

$$243,14 \text{ kN} \geq 126,66 \text{ kN (OK)}$$

$$\bullet \quad 0.05 f'_c A_g \geq P_u$$

$$0.05 \times 35 \times 650 \times 650 \geq 4457,625 \text{ kN}$$

$$739,375 \text{ kN} \geq 4457,625 \text{ kN (NOT OK)}$$

Sehingga nilai  $V_c$  diperhitungkan dalam perencanaan tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1

$$\phi V_c = \phi 0.17x \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 0.17x \left( 1 + \frac{4457,625 \times 10^3}{14 \times 650 \times 650} \right) \sqrt{35} \times 650 \times 603,5 = 518882,2 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 518,882 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{253,318 - 518,882}{0,75} = -354,08 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Direncanakan menggunakan 4 kaki dengan Ø13

$$A_v = 4 \frac{\pi}{4} 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{530,93 \cdot 420 \cdot 603,5}{-354085} = -380,064 \text{ mm (Pakai s minimum)}$$

Spasi minimum untuk seluruh bentang kolom menurut SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2 dan 18.7.5.5 adalah sebagai berikut :

- $s_{min1} = \frac{A_v \times f_y}{0,062 \sqrt{f'_c} b_w} = \frac{530,93 \times 420}{0,062 \sqrt{35} 650} = 935,3 \text{ mm}$
- $s_{min2} = \frac{A_v \times f_y}{0,35 b_w} = \frac{530,93 \times 420}{0,35 650} = 980,177 \text{ mm}$
- $s_{min3} = 6 D_l = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$
- $s_{min4} = 150 \text{ mm}$
- $s_{min} = 114 \text{ mm}$

Spasi minimum sepanjang sendi plastis ( $l_o$ ) menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 adalah sebagai berikut :

Panjang sendi plastis ( $l_o$ ) untuk bentang kolom :

- $l_o = h = 650 \text{ mm}$  (Menentukan)
- $l_o = \frac{1}{6} h_n = \frac{1}{6} 3400 = 566,67 \text{ mm}$
- $l_o = 450 \text{ mm}$

Spasi minimum pada sendi plastis ( $l_o$ ) :

- $s = \frac{1}{4} \text{Dimensi terkecil penampang kolom} = \frac{1}{4} 650 = 162,5 \text{ mm}$
- $s = 6 D_l = 6 \times 22 = 114 \text{ mm}$  (Menentukan)
- $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right), h_x = , \text{ maka } s_o = 100 + \left( \frac{350 - 87,5}{3} \right) = 187,5 \text{ mm}$
- $s_o > 150, s_o = 150 \text{ mm}$

Spasi minimum untuk kolom dengan sistem pemikul momen khusus menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4 adalah sebagai berikut :

$$b_c = b - 2c - 2 \frac{D_t}{2}$$

$$b_c = 650 - 2 \times 40 - 2 \frac{16}{2} = 557 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (b - 2c) \times (h - 2c)$$

$$A_{ch} = (650 - 2 \times 40) \times (650 - 2 \times 40) = 324900 \text{ mm}^2$$

Dengan  $f'_c < 70 \text{ MPa}$ , maka digunakan rumus sebagai berikut :

- $s_1 \leq \frac{A_{sh} \times f_y}{0,3 b_c f'_c \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)}$
- $s_1 \leq \frac{530,93 \times 420}{0,3 557 35 \left( \frac{422500}{324900} - 1 \right)} = 126,92 \text{ mm}$  (Menentukan)
- $s_2 \leq \frac{A_{sh} \times f_y}{0,09 b_c f'_c}$
- $s_2 \leq \frac{530,93 \times 420}{0,09 557 35} = 127,09 \text{ mm}$

Sehingga, digunakan  $s = 100 \text{ mm}$  sepanjang kolom untuk memenuhi kebutuhan akibat sistem rangka pemikul momen khusus.

- Kontrol Batasan Penampang menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.7.7.1

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{253318}{650 \cdot 603,5}\right)^2 + \left(\frac{11150,6 \times 2228}{1,7 \cdot 310249^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{518882,2}{0,75 \times 650 \times 603,5} + 0,66 \sqrt{35}\right)$$

$$0,663 \leq 4,25 \text{ (OK)}$$

### 6.3.5 Pendetailan Tulangan

1. **Penentuan selimut Beton (SNI 10.7.1.1) mengacu (Tabel 20.6.1.3.1) SNI 2847 2019**  
**Karena digunakan tulangan D13 maka tebal selimut beton (Cc) adalah 40 mm.**

2. Panjang penyaluran tulangan ulir sesuai pasal 25.4 SNI 2847 2019

3. Pasal 25.4.1.4 Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

$$\sqrt{f'_c} = \sqrt{35} = 5.92 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Pasal 25.4.2.1 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran  $l_d$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{Tabel 25.4.2.4})$$

$$\lambda = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{Pasal 25.4.2.3})$$

Maka, Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ):

- Dihitung berdasarkan (Tabel 25.4.2.2. SNI 2847 2019)

$$a. \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b = \frac{420 \times 1,3 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 1098,70 \text{ mm}$$

$$b. 300 \text{ mm}$$

- Dihitung berdasarkan Pasal 25.4.2.3

$$\frac{f'_c}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b = \frac{35}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 0,8 \times 1}{\frac{46,5+0}{25}} \times 25 = 902,16 \text{ mm}$$

$$l_d \text{ max} = 1098,70 \text{ mm}$$

Maka, diambil panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik ( $l_d$ ) sebesar 1100 mm

4. Pasal 25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik  $l_d$  batang ulir yang diakhiri dengan suatu "kait" standar harus diambil terbesar dari perhitungan  $l_d$  berikut:

$$\Psi_c = 0,7 \quad (\text{Tabel 25.4.3.2})$$

$$\Psi_r = 1$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$db = 25 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran Tarik “ldh” dihitung berdasarkan Pasal 25.4.3.1.

$$a. \frac{0,24 f_y \phi_e \phi_c \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} \times db = \frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 0,7 \times 0,8}{1 \sqrt{35}} \times 25 = 298,17 \text{ mm}$$

$$b. 8db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$c. 150 \text{ mm}$$

Maka, panjang penyaluran “kait” kondisi tarik (ldh) adalah 298,17 mm

5. Pasal 25.4.3.3 Jarak sengkang sepanjang penyaluran ldh:

Diketahui:

$$db = 22 \text{ mm}$$

a. Kait harus dilingkupi sepanjang ldh dengan Sengkang ikat atau sengkang dengan spasi  $S \leq 3db$

$$S \leq 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

b. Sengkang ikat atau Sengkang pertama harus dipasang sejarak 2db disisi terluar bengkokan

$$S = 2db = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

c.  $\Psi_r$  harus diambil sebesar 1 dalam perhitungan ldh sesuai Pasal 25.4.3.1.(a)

Berdasarkan hasil perhitungan Pasal 25.4.3.1.(a) didapat ldh = 298,17 mm

6. Pasal 25.4.9 Panjang penyaluran ldc untuk batang ulir dalam kondisi "tekan" harus yang terbesar dari perhitungan berikut:

$$\Psi_r = 0,75$$

Panjang penyaluran tulangan ulir “tekan” dihitung berdasarkan:

- Pasal 25.4.9.1.

g. Hasil dari Pasal 25.4.9.2.

h. 200mm

- Pasal 25.4.9.2

$$g. \frac{0,24 f_y \phi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} db = \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{35}} \times 25 = 319,47 \text{ mm}$$

$$h. 0,043 f_y \phi_r db = 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 25 = 338,63 \text{ mm}$$

Maka, nilai Panjang penyaluran tekan “ldc” adalah 338,63 mm, digunakan 340 mm

7. Spasi minimum tulangan longitudinal sesuai pasal 25.2.3 SNI 2847 2019 adalah nilai terbesar dari:

a. 40 mm

$$b. 1,5 db = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$$

$$c. 4/3 d \text{ agregat} = 4/3 \times 20 = 26,67 \text{ mm} \quad (\text{asumsi } d \text{ agregat} = 20 \text{ mm})$$

8. Panjang sambungan lewatan batang ulir sesuai pasal 25.5

- Pasal 25.5.2.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi Tarik (lst)

Diketahui:

$$As \text{ terpasang} = 5887,5 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ perlu} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{st}}{A_{sp}} = \frac{5887,5}{3600} = 1.64 < 2$$



Digunakan tipe sambungan lewatan kelas B, maka  $l_{st}$  adalah nilai terbesar dari:

- a.  $1.3 l_d = 1,3 \times 1098,70 = 1428,3 \text{ mm}$
- b.  $300 \text{ mm}$

Maka nilai  $l_{st}$  adalah  $1428,3 \text{ mm}$ .

- Pasal 25.5.5.1 Panjang sambungan lewatan batang ulir kondisi tekan ( $f_y = 420$ ) adalah nilai terbesar dari:
  - a.  $0.071 f_y d_b = 0.071 \times 420 \times 25 = 745,5 \text{ mm}$
  - b.  $300 \text{ mm}$

Maka nilai  $l_{sc}$  adalah  $745,5 \text{ mm}$ .

Pasal 10.7.5.2.1 Faktor pengurangan sambungan lewatan kondisi tekan:

Spasi sengkang  $= 150 \text{ mm}$

$0.0015 \cdot h \cdot s = 0,0015 \times 600 \times 150 = 135 \text{ mm}^2$

$A_b$  (luas sengkang)  $= 530,66 \text{ mm}^2$

Kontrol  $A_b > 0.0015 h \cdot s$  (OK)

Faktor pengurangan sambungan lewatan adalah  $0,83$ , sehingga:

Panjang  $l_{sc}$  terfaktor  $= 0,83 \times 745,5 = 618,765 \text{ mm}$

- 9. Pasal 25.5.7.1 Sambungan las atau mekanis harus mampu mengembangkan tarik/tekan paling sedikit:

$1.25 f_y = 1,25 \times 420 \text{ MPa} = 525 \text{ MPa}$

Pasal 25.5.7.4 Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harus dibuat berselang-seling paling sedikit  $750 \text{ mm}$ .

- 10. SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.3

Lap splices hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom, dan harus di ikat dengan tulangan sengkang (confinement). Sepanjang lap splices (sambungan lewatan), spasi tulangan transversal dipasang sesuai spasi tulangan confinement yaitu  $= 100 \text{ mm}$

## KESIMPULAN

1. Rekapitulasi hasil perbedaan dari perencanaan kolom dengan tulangan geser mutu tinggi dan tulangan mutu normal didapatkan, sebagai berikut :

Perbedaan	Kolom		Mutu Tinggi	Mutu Normal	Penjelasan
Tinggi (mm)	K1		4300	4300	Tinggi kolom sama agar dapat melihat perbedaan antara kolom mutu normal dengan mutu tinggi.
	K2		4300	4300	
Dimensi (mm x mm)	K1		750	750	Dimensi kolom sama agar dapat melihat perbedaan antara kolom mutu normal dengan mutu tinggi.
	K2		750	750	
Tulangan Transversal	K1	Sepanjang $l_o$	5 kaki D13 - 200	5 kaki D16 - 200	Tulangan transversal pada mutu tinggi dan mutu normal digunakan dengan ukuran yang berbeda dikarenakan kapasitas nominal yang dibutuhkan pada beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas beton mutu normal.
		Diluar $l_o$	5 kaki D13 - 100	5 kaki D16 - 100	
	K2	Sepanjang $l_o$	4 kaki D13 - 200	4 kaki D16 - 200	
		Diluar $l_o$	4 kaki D13 - 100	4 kaki D16 - 100	

2. Rekapitulasi volume dari masing-masing kolom per 1 m antara tulangan geser mutu tinggi dengan mutu normal.

Mutu Tinggi						
Tul. Longi	l (mm)	n	D (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	
	1000	20	22	380,285714	7605714,286	
Tul. Transversal	D (mm)	n	Luas (mm <sup>2</sup> )	l kaki	Av (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )
	13	18	132,785714	5800	770157,143	14055367,9
V kolom	L (mm)	B (mm)	H (mm)	V (mm3)		
	1000	750	750	562500000		
Total	584161082	mm <sup>3</sup>				
% V Baja	21661082,1	mm <sup>3</sup>	3,71%			
Mutu Normal						
Tul. Longi	L (mm)	n	D (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	
	1000	24	22	380,285714	9126857,143	
Tul. Transversal	Av (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	n	Luas (mm <sup>2</sup> )	l kaki	V (mm <sup>3</sup> )
	1166628,57	16	18	201,142857	5800	21290971,4
V kolom	L (mm)	B (mm)	H (mm)	V (mm <sup>3</sup> )		
	1000	750	750	562500000		
Total	592917829	mm <sup>3</sup>				
% V Baja	30417828,6	mm <sup>3</sup>	5,13%			

## **LAMPIRAN GAMBAR**

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

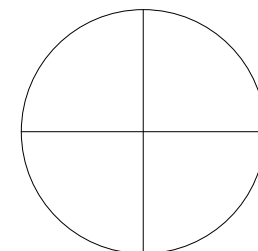
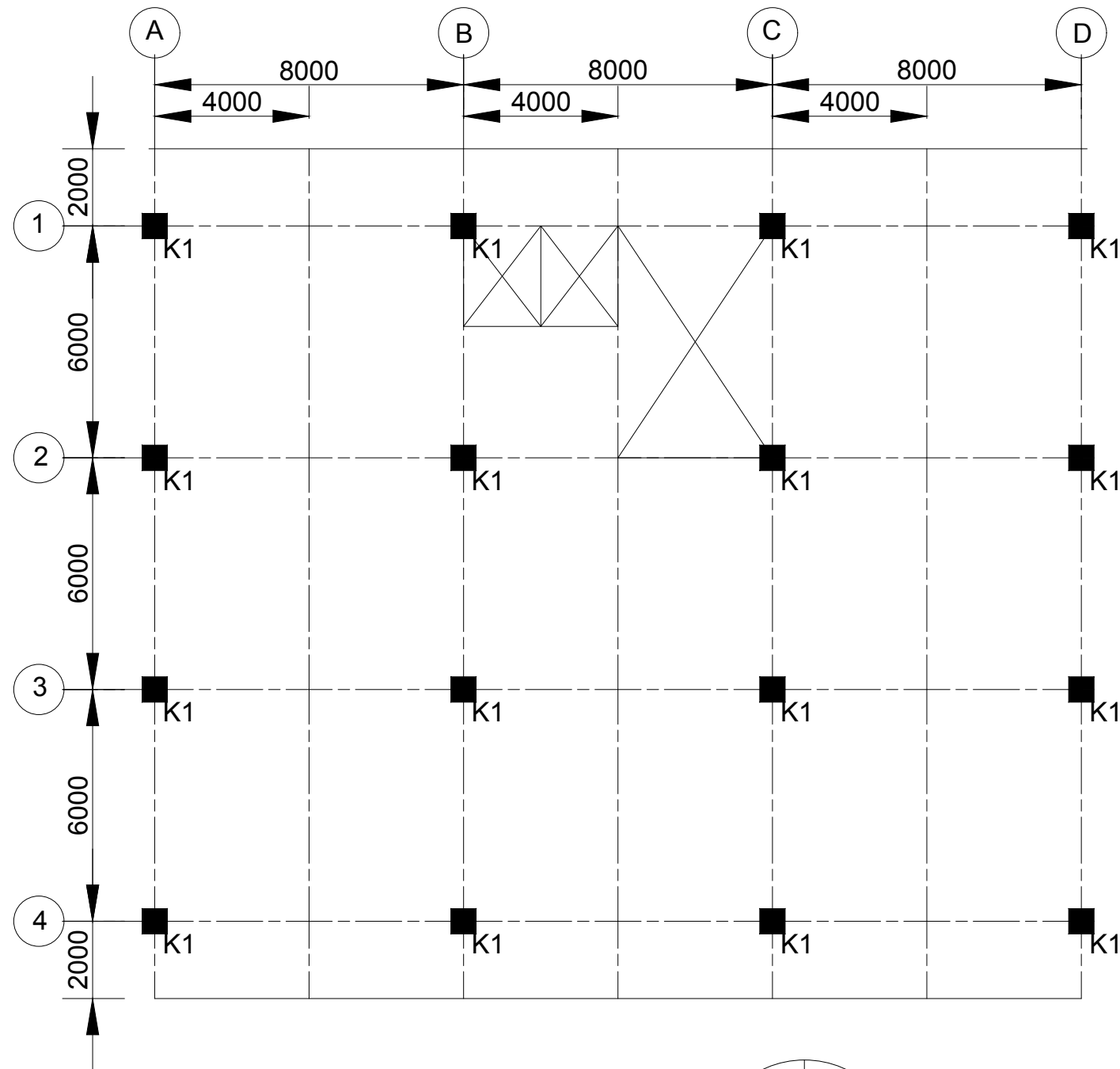
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

1

JUMLAH HALAMAN

22



Denah Kolom K1

1 : 125

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

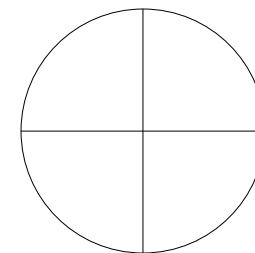
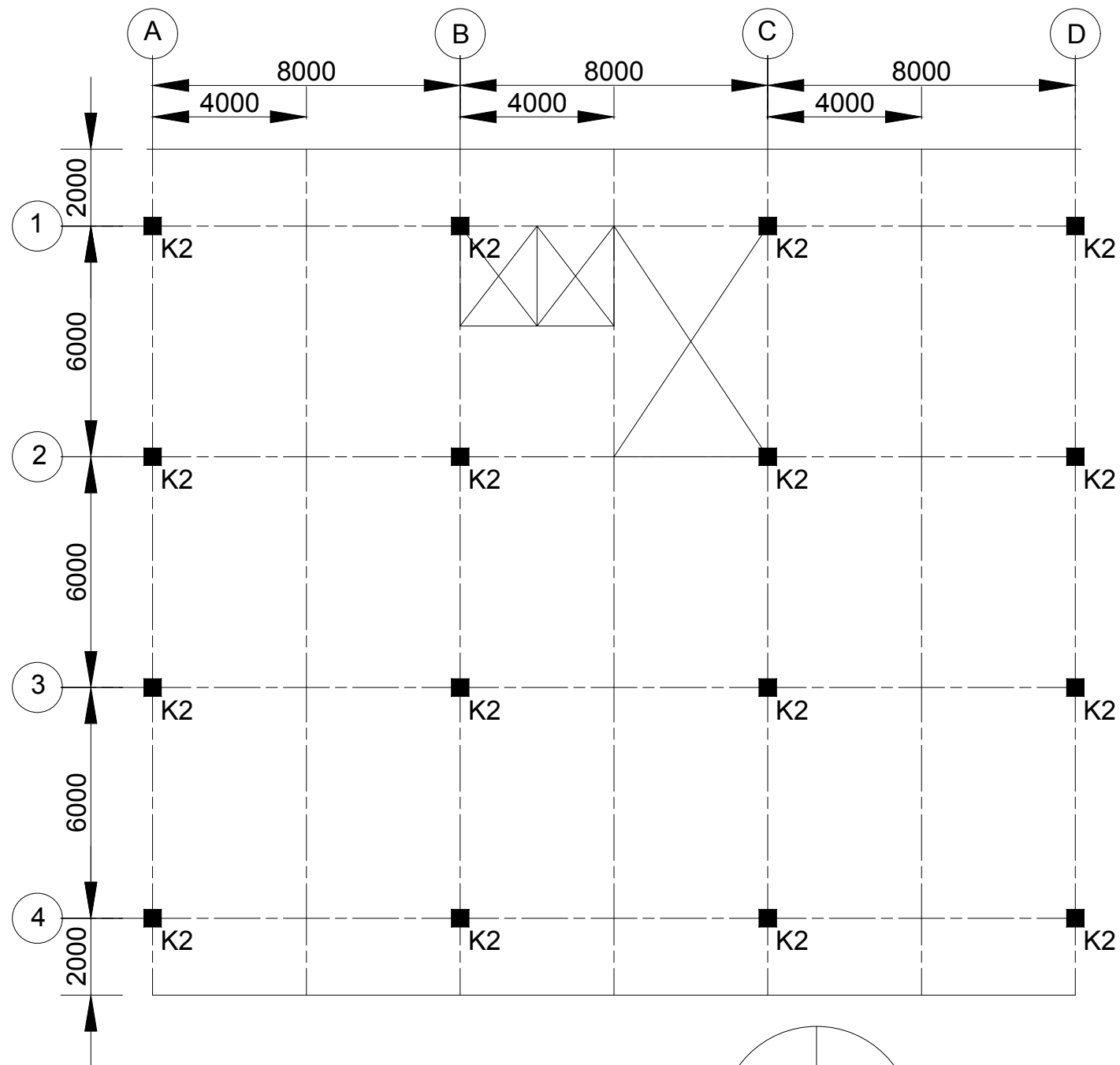
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

2

JUMLAH HALAMAN

22



Denah Kolom K2

1 : 125

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

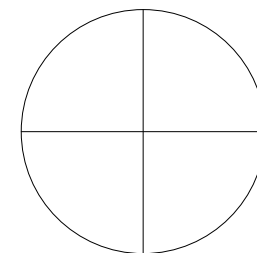
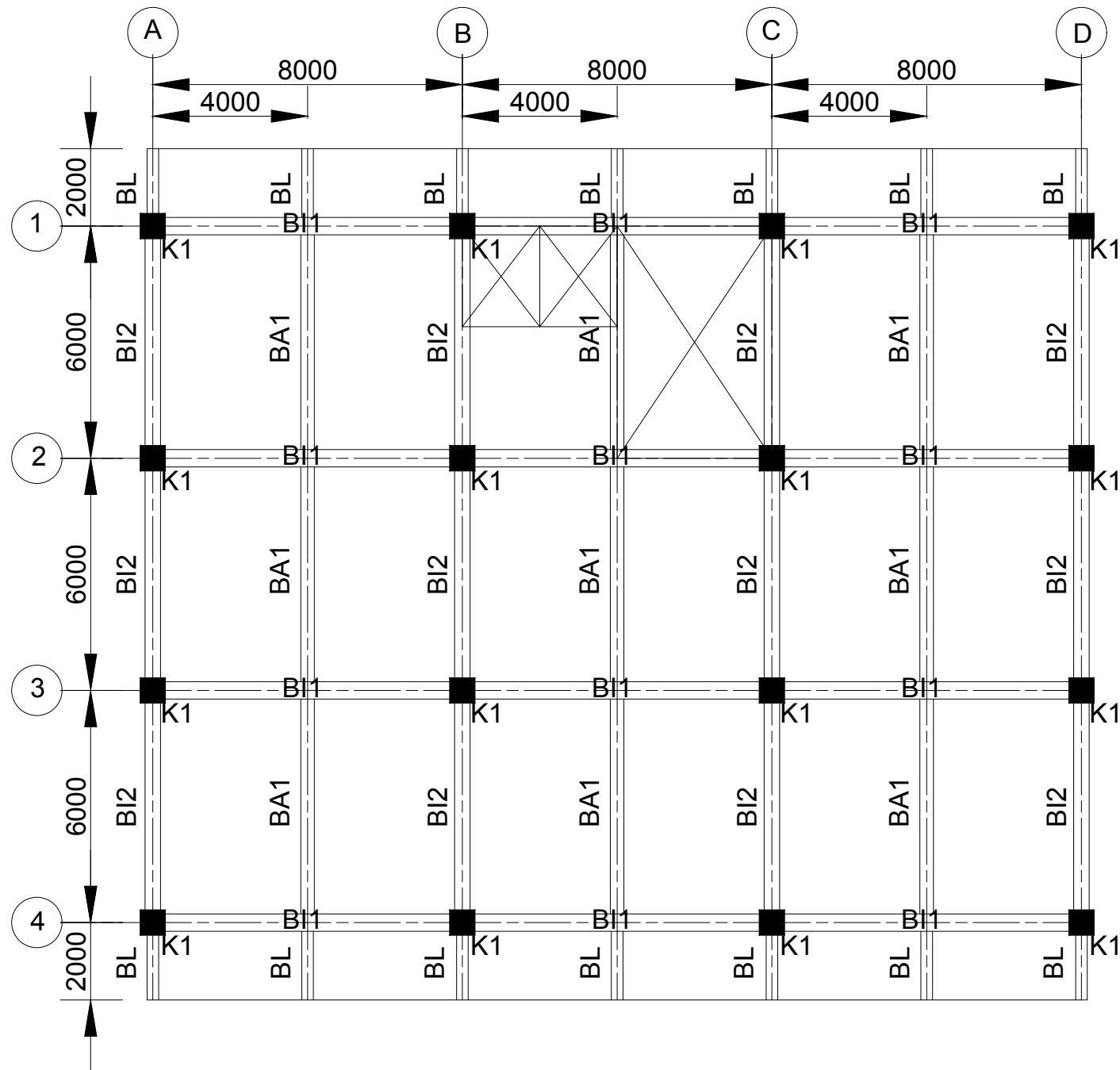
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

3

JUMLAH HALAMAN

22



Denah Balok K1  
1 : 125

STRUKTUR  
 BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
 03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
 03111740000060

DOSEN ASISTEN

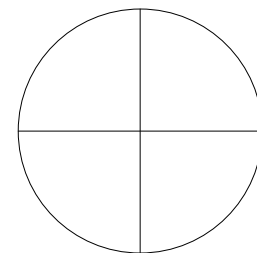
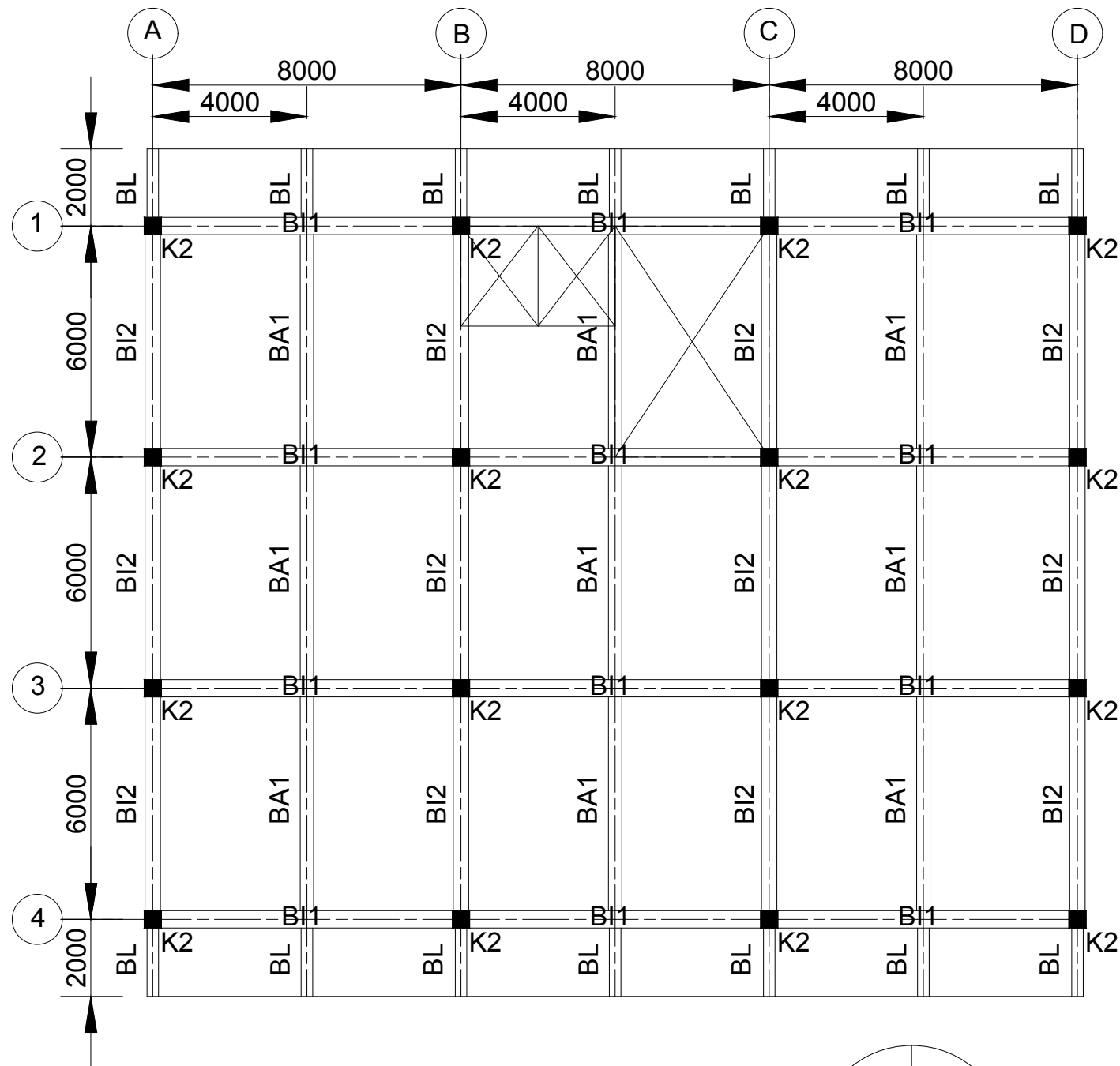
BAMBANG PISCESA,  
 S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

4

JUMLAH HALAMAN

22



Denah Balok K2

1 : 125

STRUKTUR

BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.

03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ

03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,

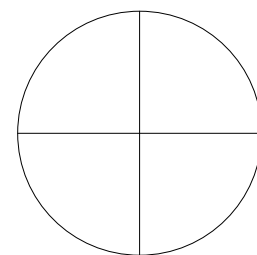
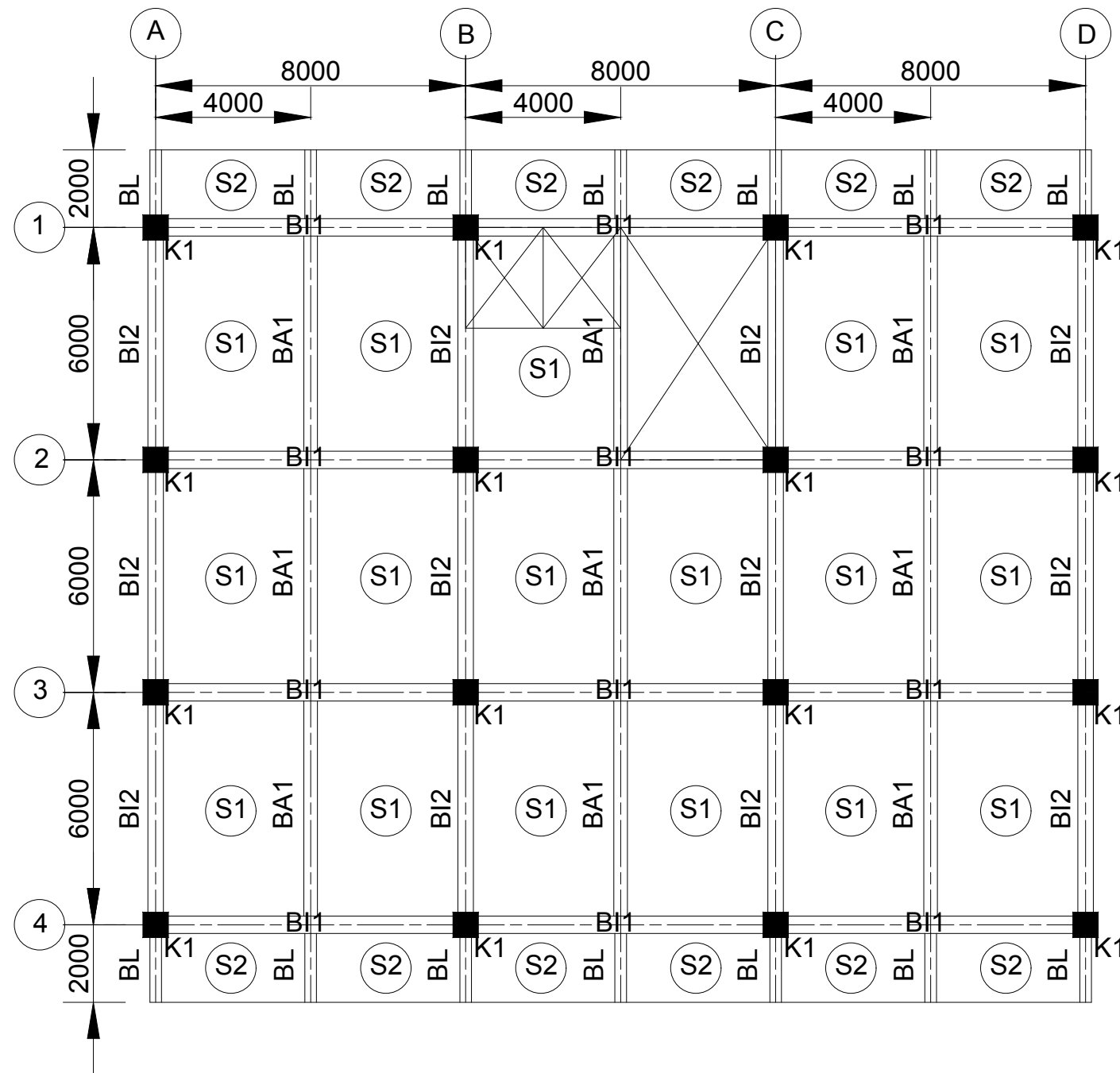
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

5

JUMLAH HALAMAN

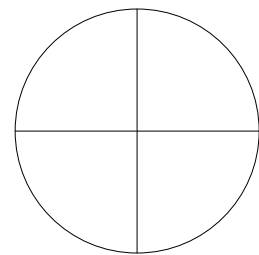
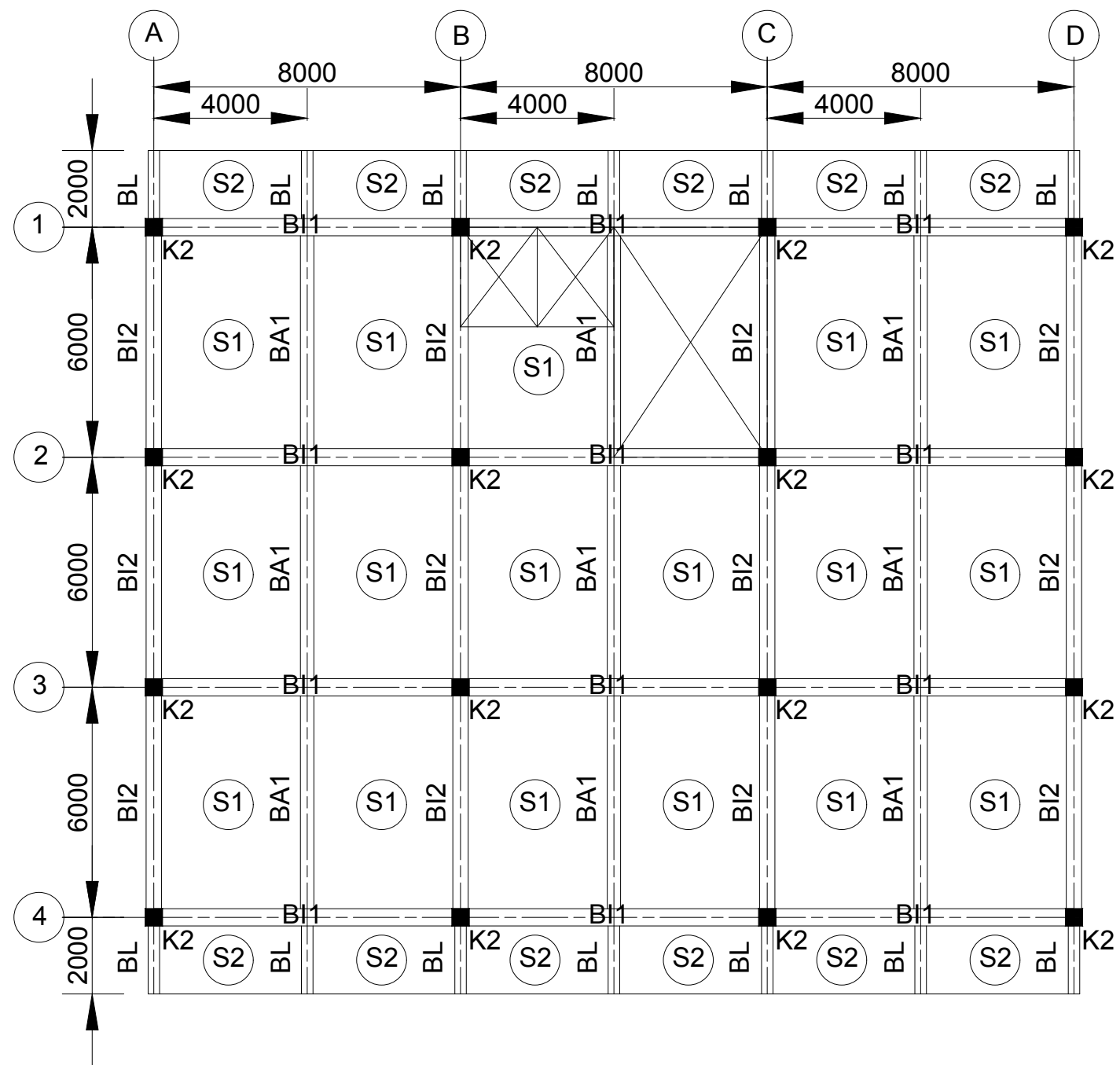
22



Denah Pelat Lantai K1

1 : 125





Denah Pelat Lantai K2  
1 : 125

## STRUKTUR BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

6

JUMLAH HALAMAN

22

STRUKTUR

BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.

03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ

03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,

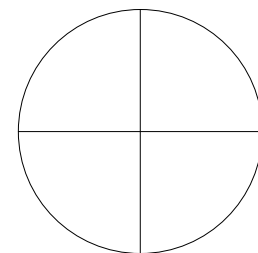
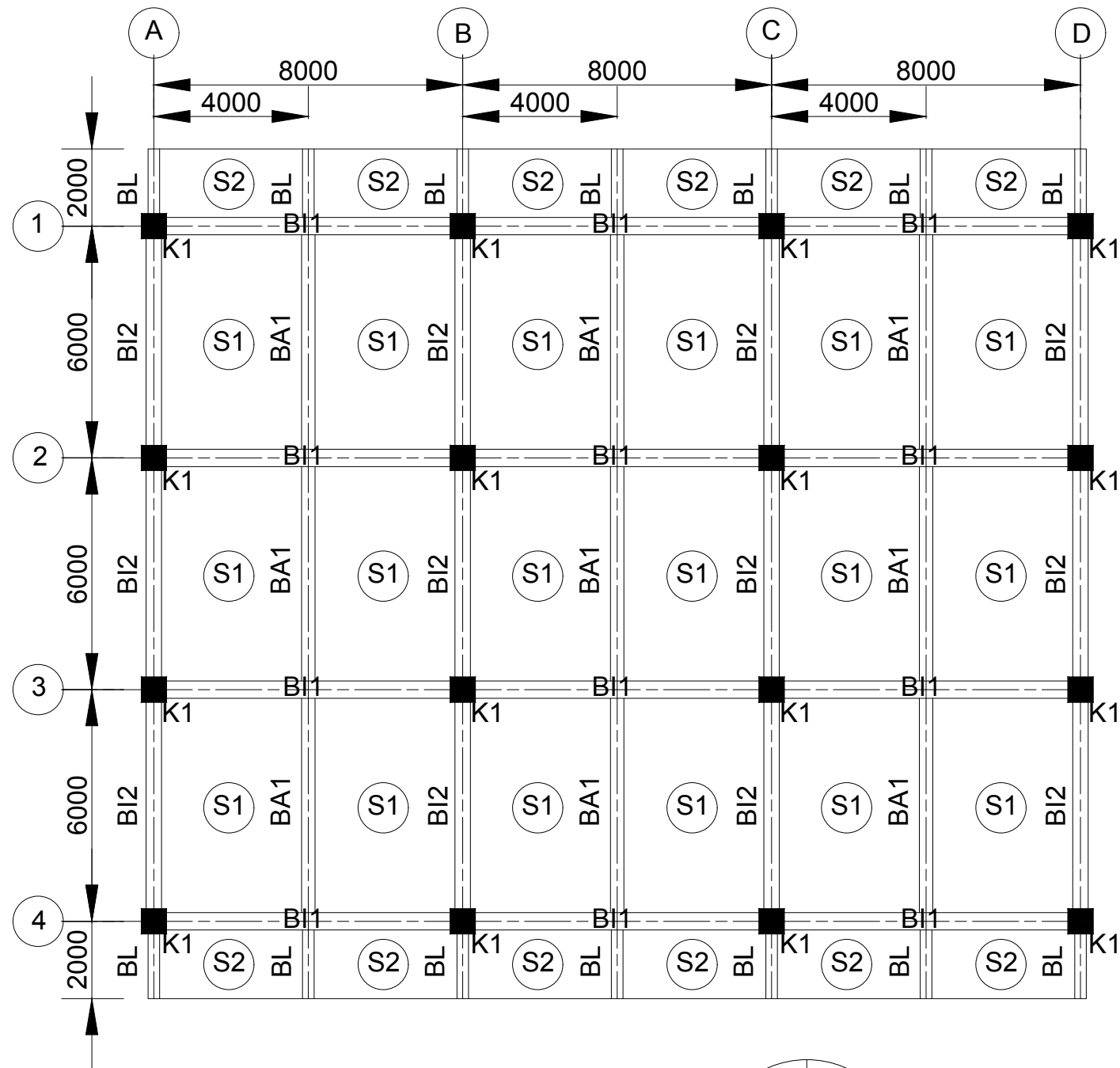
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

7

JUMLAH HALAMAN

22



Denah Pelat Atap K1

1 : 125

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

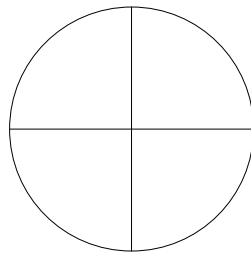
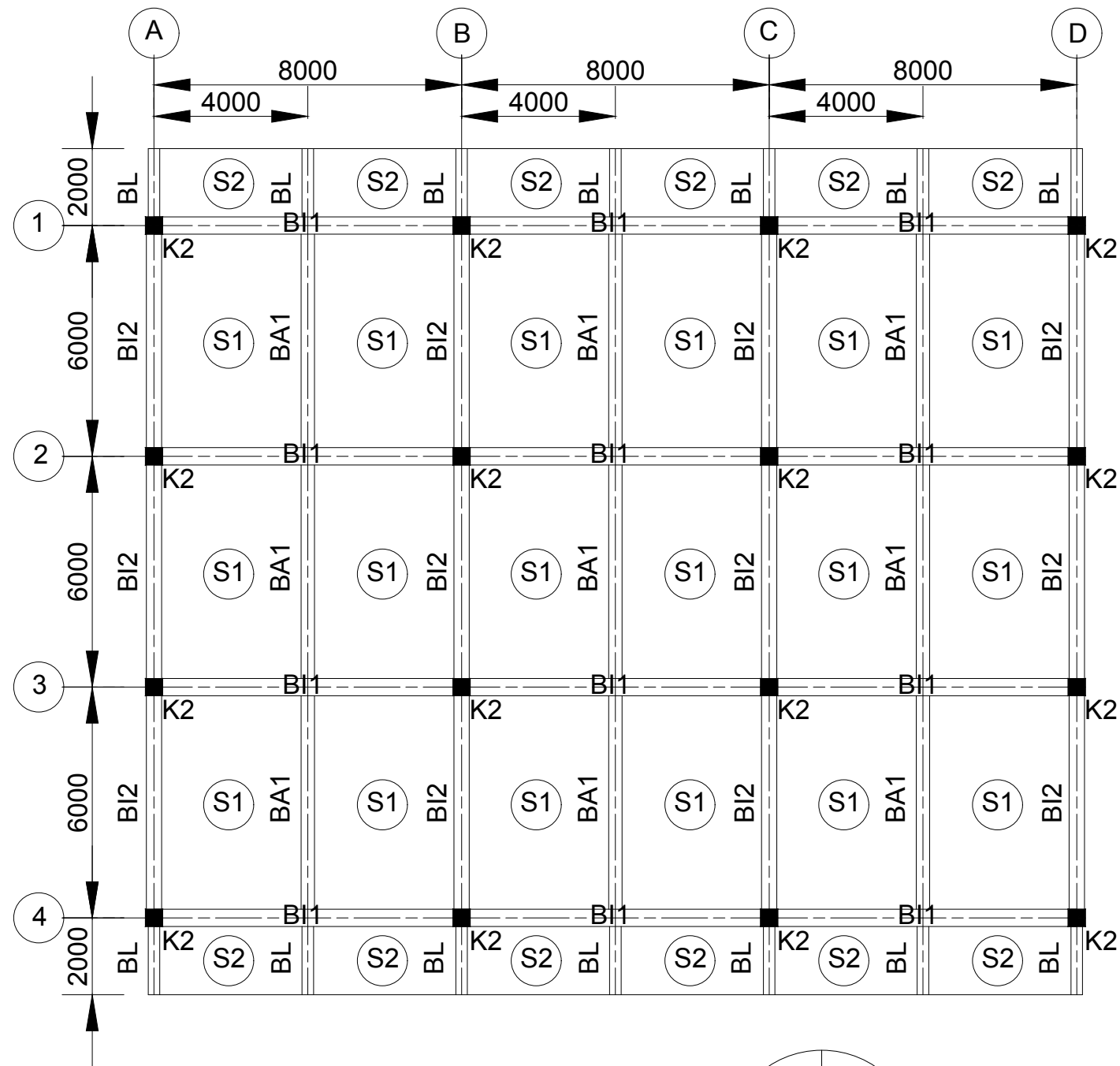
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

8

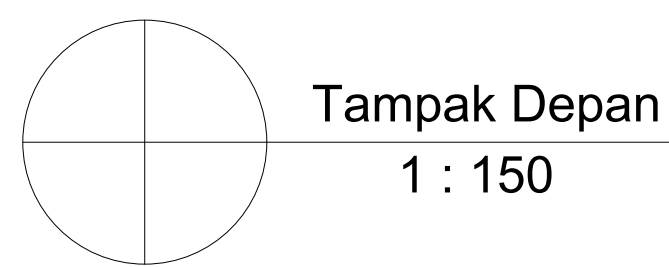
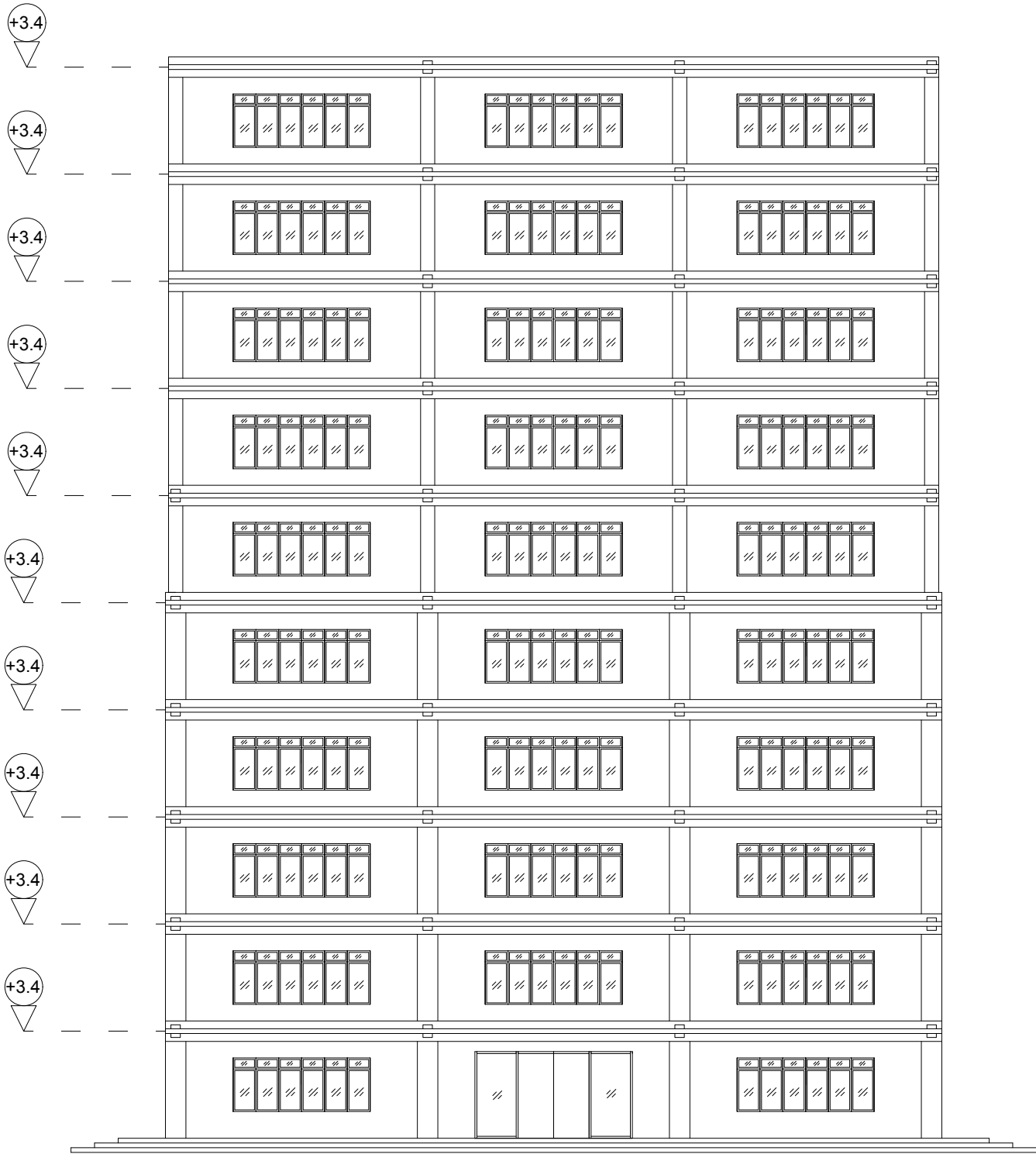
JUMLAH HALAMAN

22



Denah Pelat Atap K2

1 : 125



STRUKTUR BANGUNAN BETON
NAMA MAHASISWA
I A PUTU EKA C. S. 03111740000023
HILDA IMAMA ROFIQ 03111740000060
DOSEN ASISTEN
BAMBANG PISCESA, S.T., M.T.
NOMOR HALAMAN
9
JUMLAH HALAMAN
22

+3.4

+3.4

+3.4

+3.4

+3.4

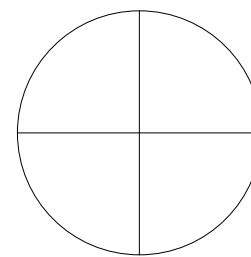
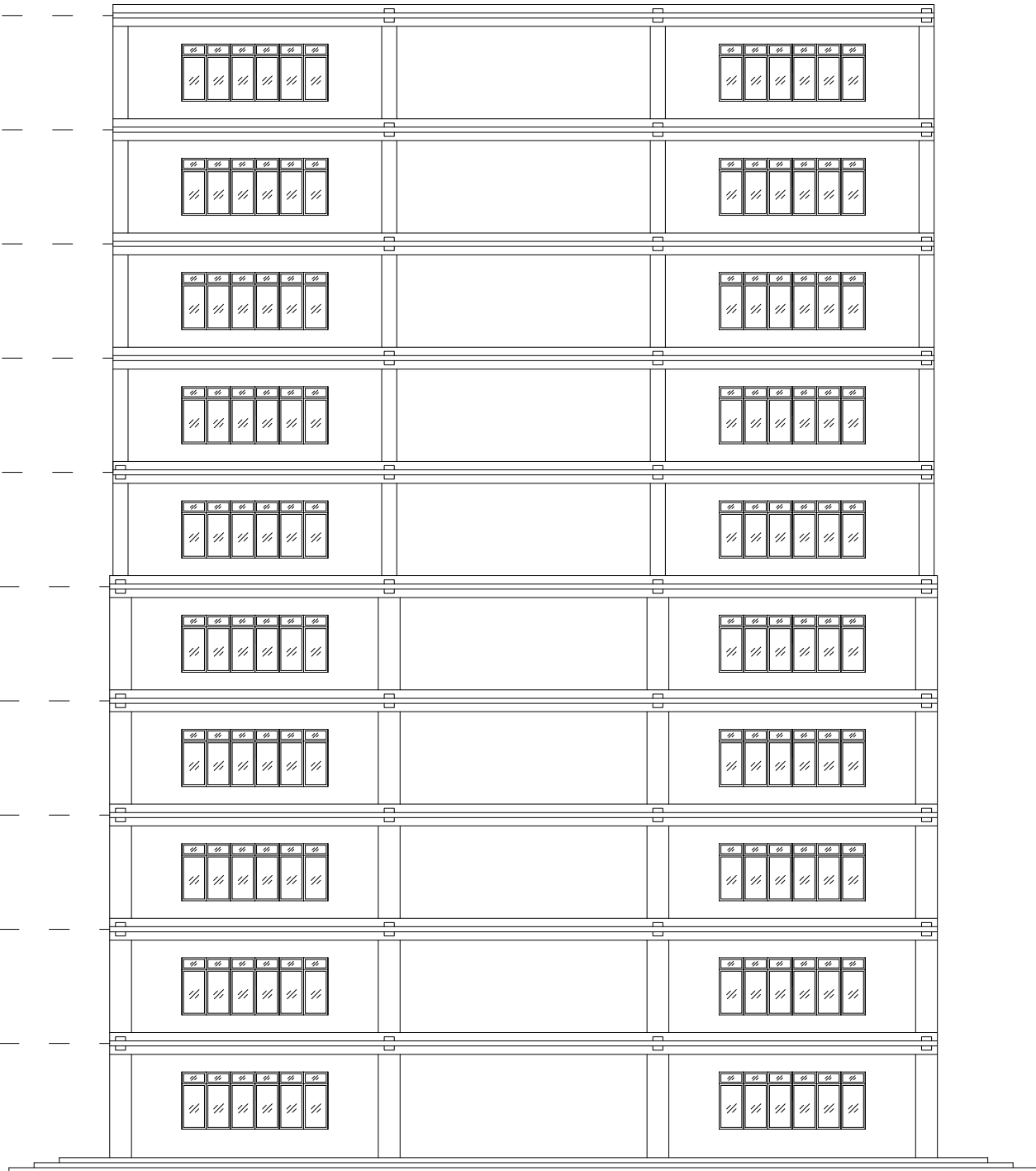
+3.4

+3.4

+3.4

+3.4

+3.4



Tampak Belakang  
1 : 150

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

10

JUMLAH HALAMAN

22

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

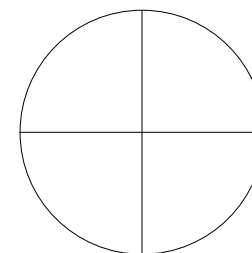
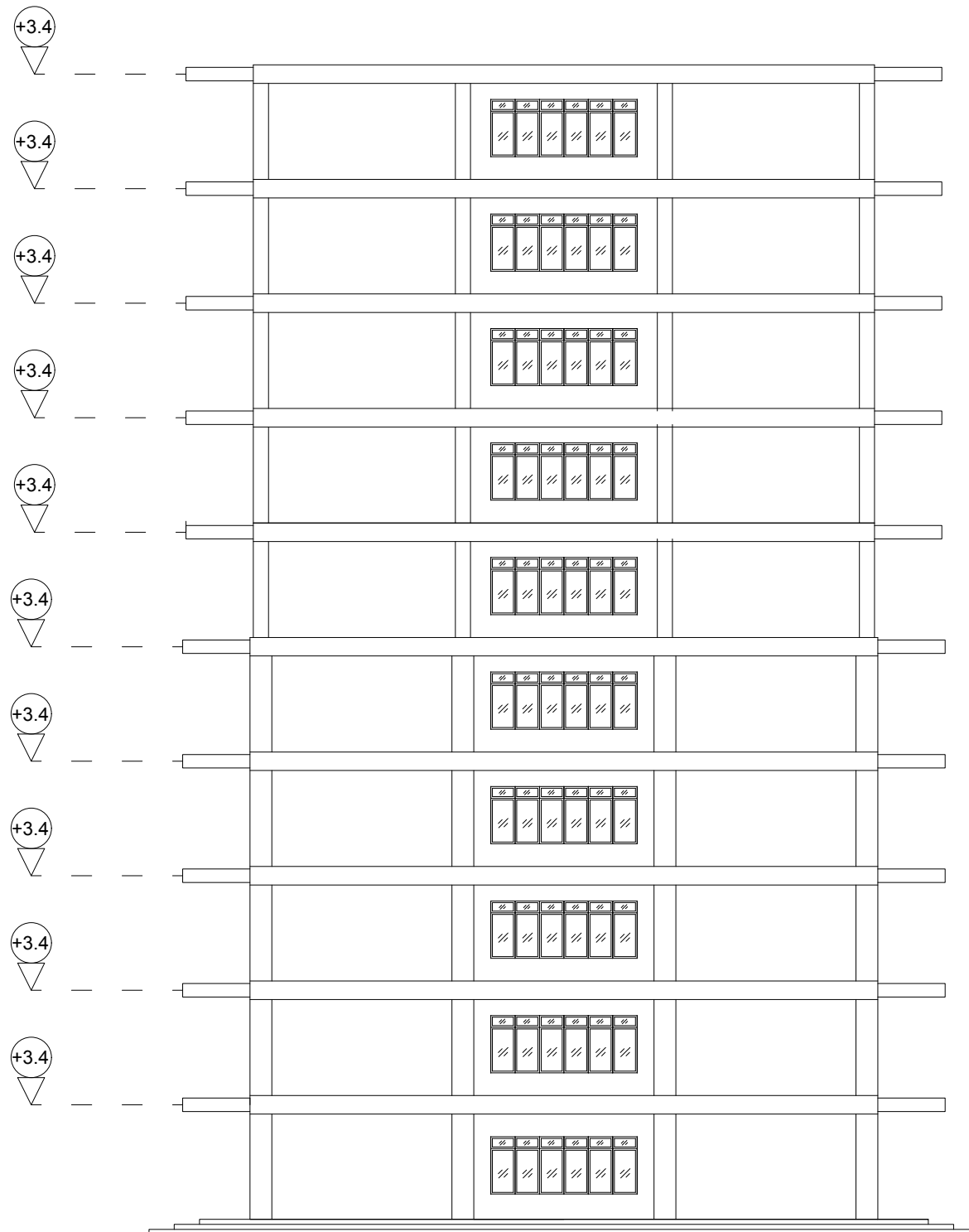
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

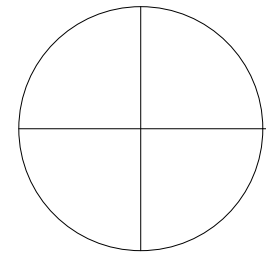
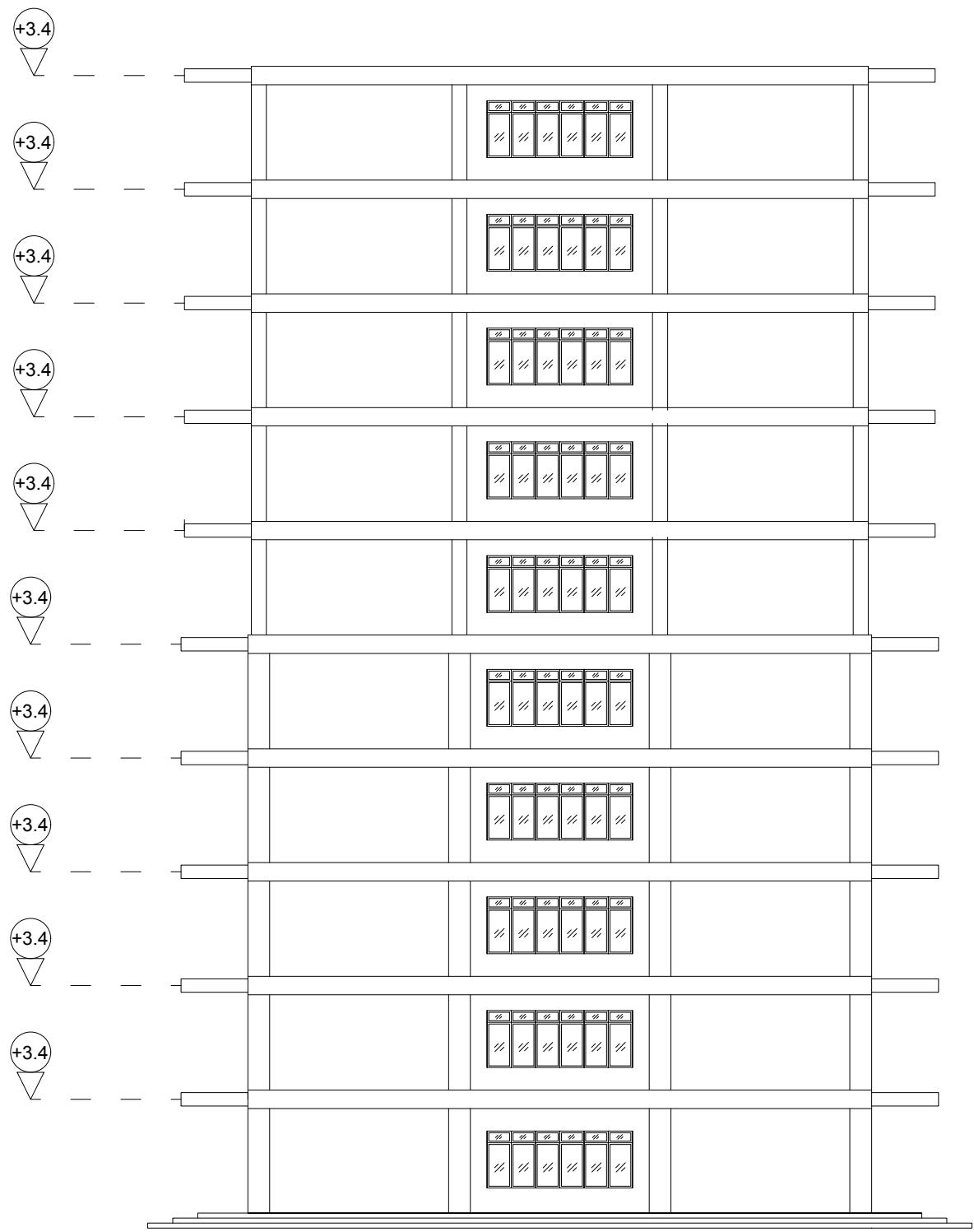
11

JUMLAH HALAMAN

22



Tampak Kanan  
1 : 150



Tampak Kiri  
1 : 150

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

12

JUMLAH HALAMAN

22

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

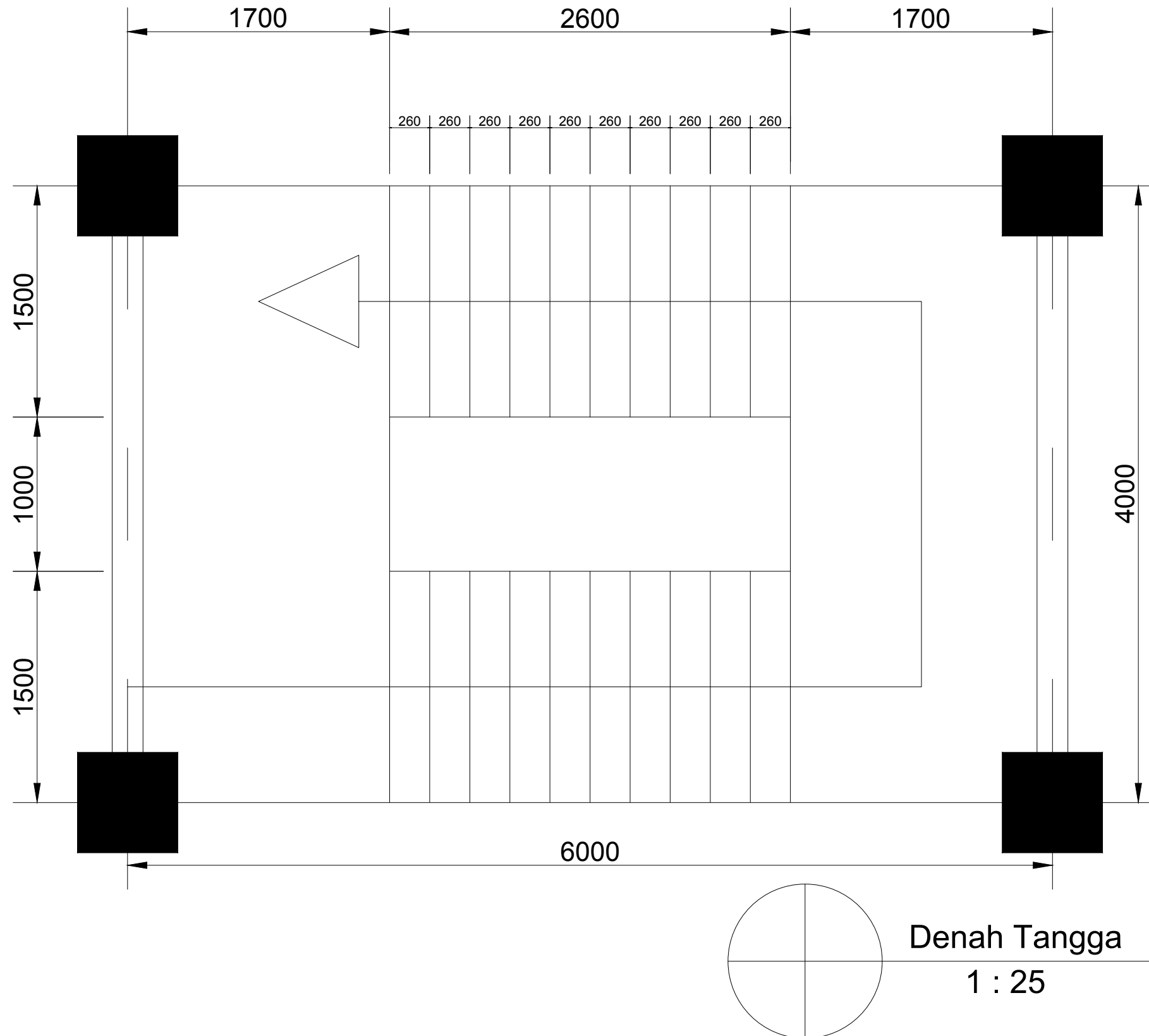
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

13

JUMLAH HALAMAN

22







INSTITUT  
TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIHAN

## STRUKTUR BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

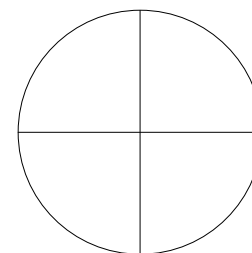
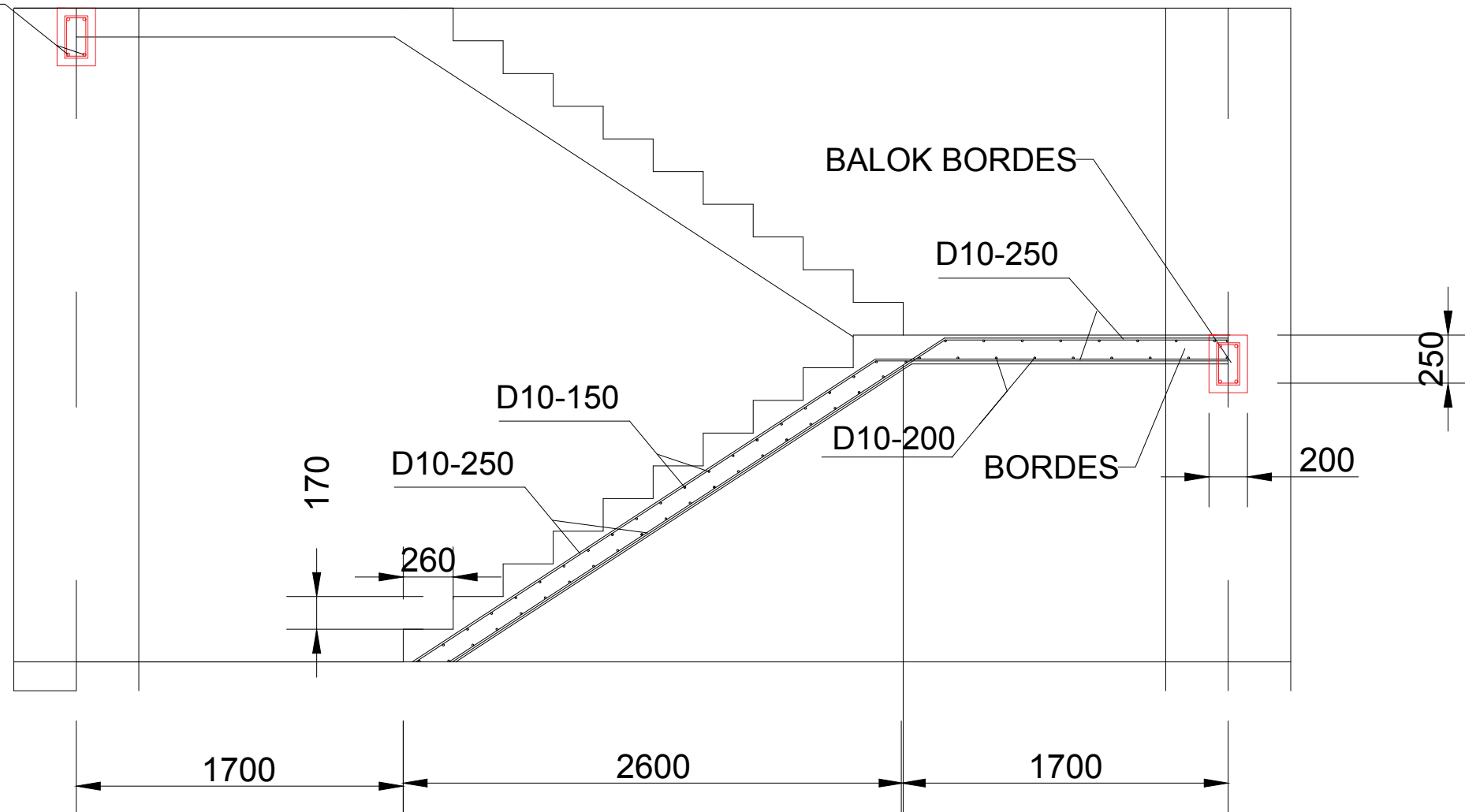
NOMOR HALAMAN

14

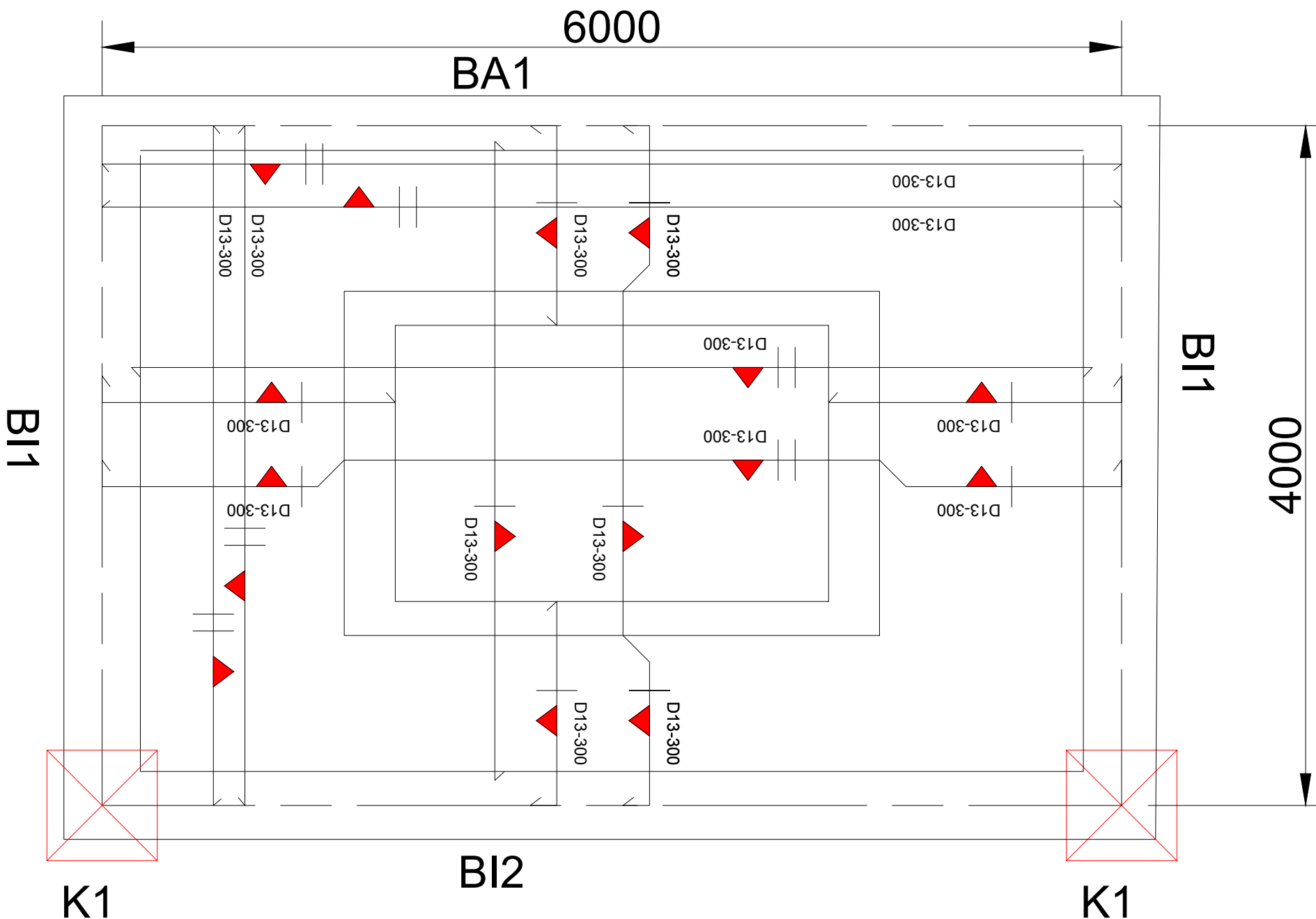
JUMLAH HALAMAN

22

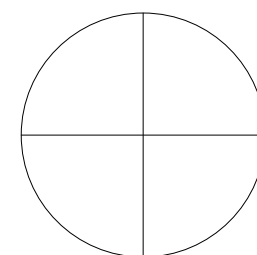
2D16



Penulangan Tangga  
1 : 25



Jenis Pelat S1	Pelat Lantai atau Atap
Ukuran	400 x 600
Jarak Tumpuan Tipe 1	$\frac{1}{5} Lx$ atau $\frac{1}{5} Ly$
Jarak Tumpuan Tipe 2	$\frac{1}{4} Lx$ atau $\frac{1}{4} Ly$



Pelat 400 x 600  
1 : 25

## STRUKTUR BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

15

JUMLAH HALAMAN

22

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

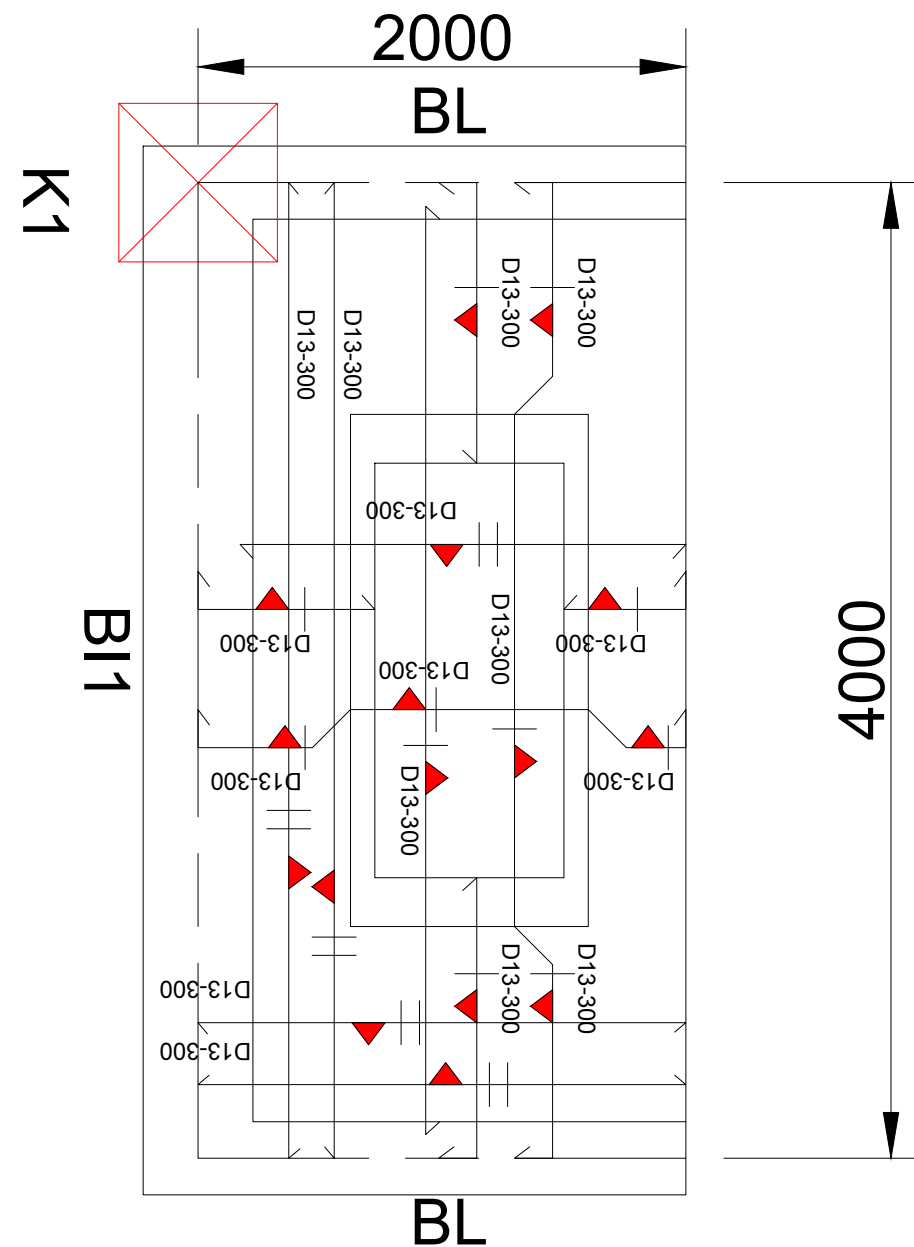
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

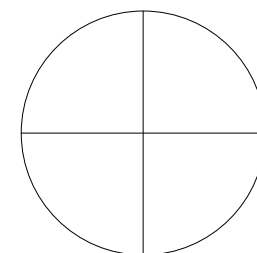
16

JUMLAH HALAMAN

22



Jenis Pelat S2	Pelat Lantai atau Atap
Ukuran	200 x 400
Jarak Tumpuan Tipe 1	$\frac{1}{5} Lx$ atau $\frac{1}{5} Ly$
Jarak Tumpuan Tipe 2	$\frac{1}{4} Lx$ atau $\frac{1}{4} Ly$



Pelat 200 x 400

1 : 25

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

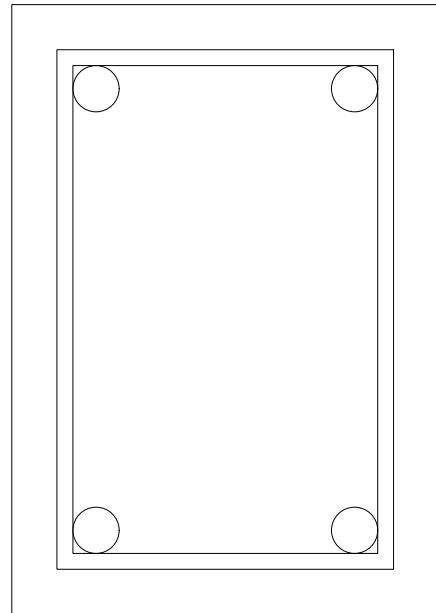
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

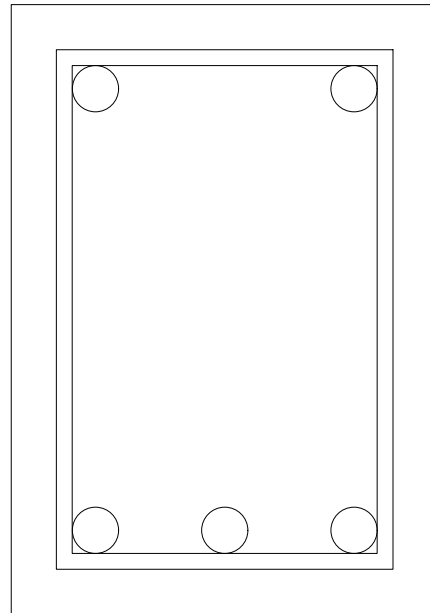
17

JUMLAH HALAMAN

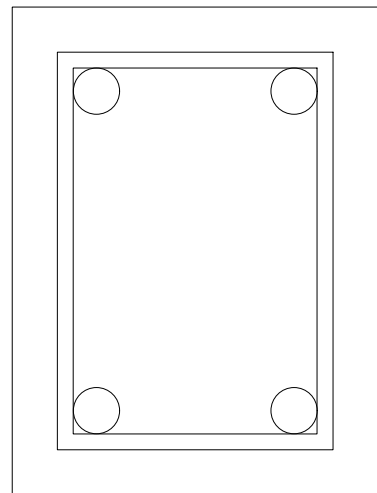
22



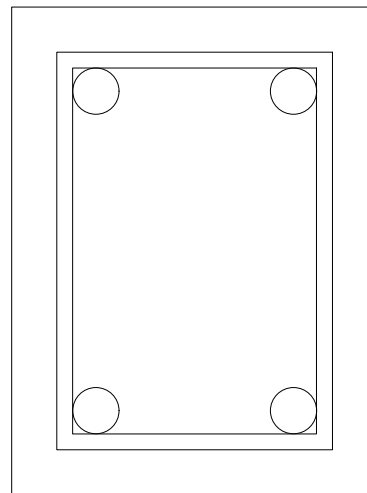
Penulangan B. Anak  
Lapangan (BA 1)  
1 : 5



Penulangan B. Anak  
Tumpuan (BA 1)  
1 : 5



Penulangan B. Luivel  
Lapangan (BL)  
1 : 5



Penulangan B. Luivel  
Tumpuan (BL)  
1 : 5

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

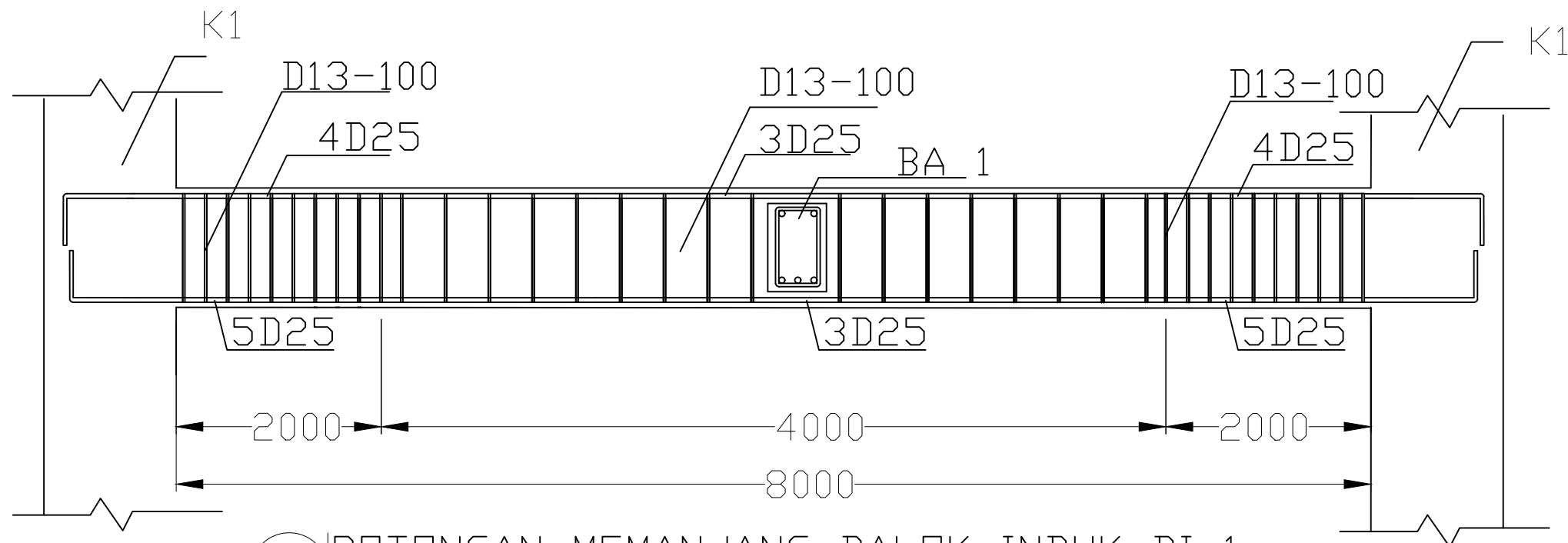
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

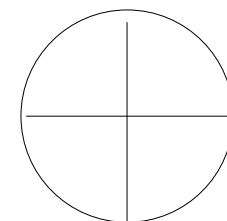
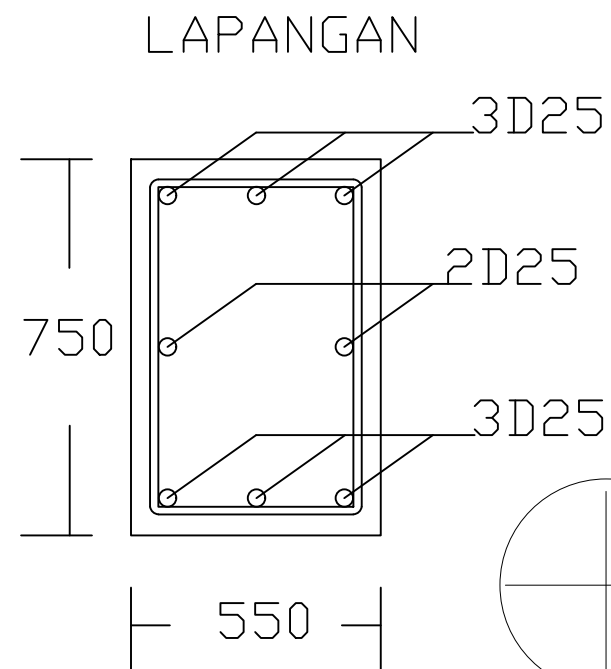
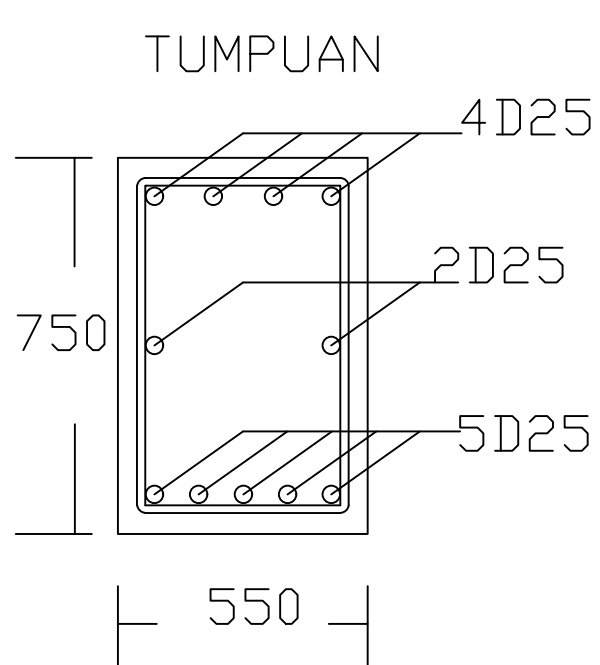
18

JUMLAH HALAMAN

22



POTONGAN MEMANJANG BALOK INDUK BI 1  
SKALA 1:50



POTONGAN MELINTANG  
BALOK INDUK BI 1  
SKALA 1:25

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

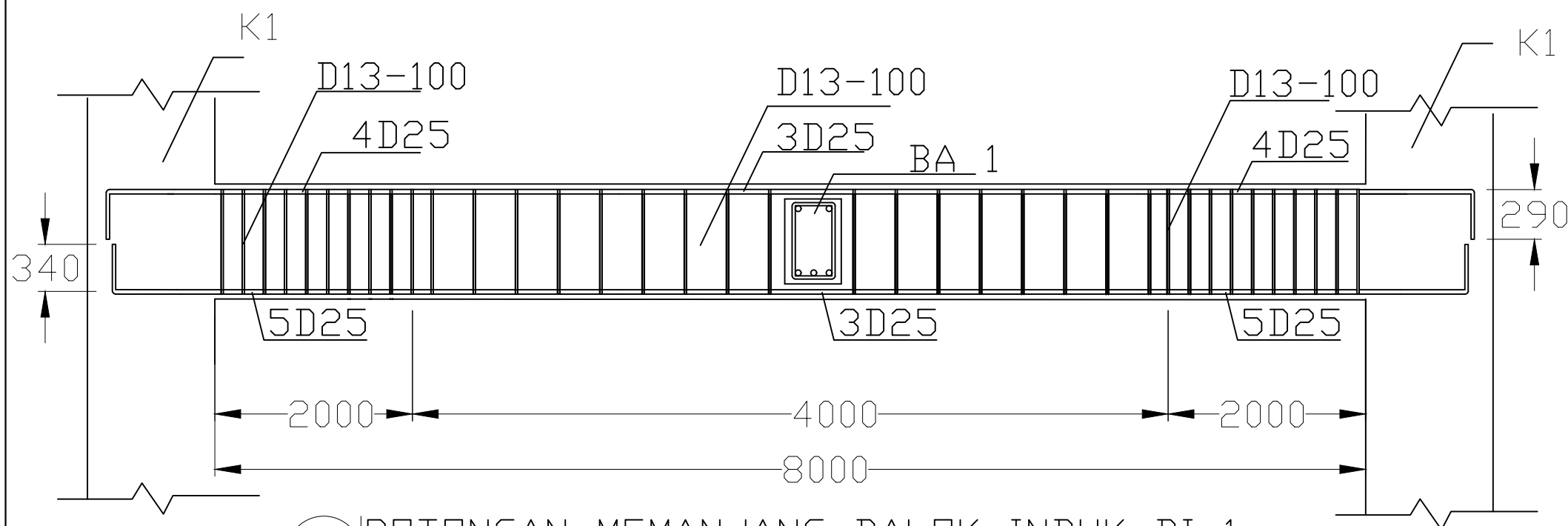
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

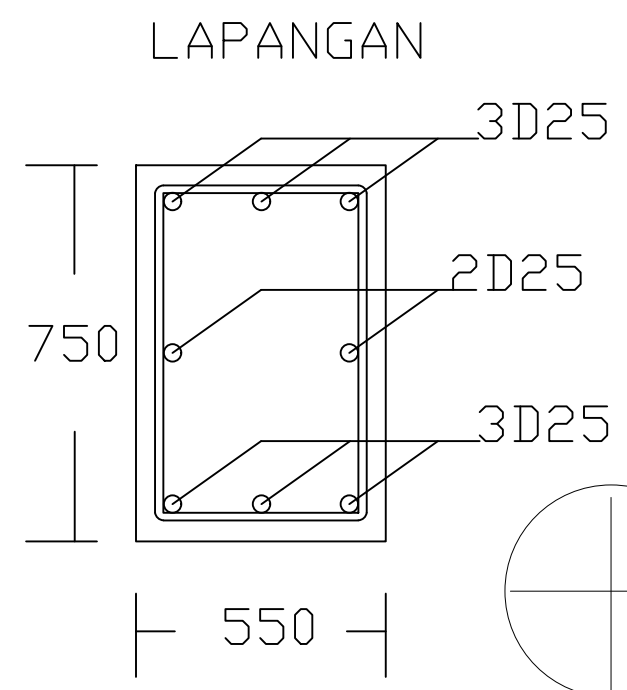
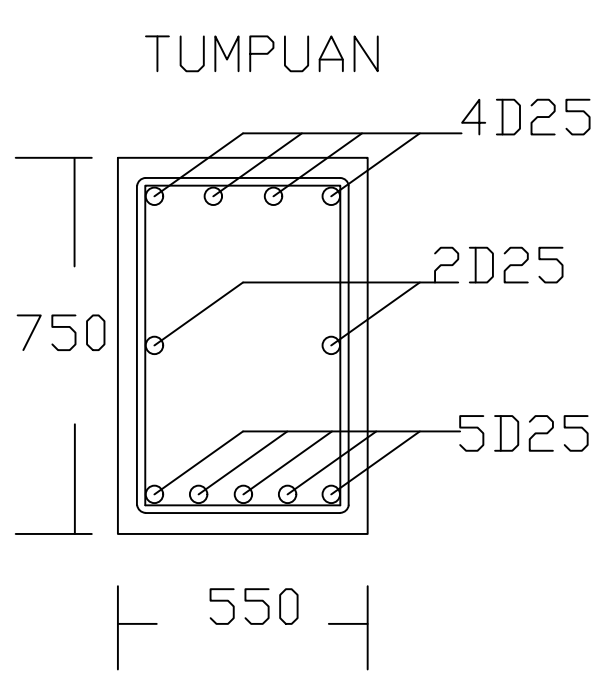
18

JUMLAH HALAMAN

22



POTONGAN MEMANJANG BALOK INDUK BI 1  
SKALA 1:50



POTONGAN MELINTANG  
BALOK INDUK BI 1  
SKALA 1:25



STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

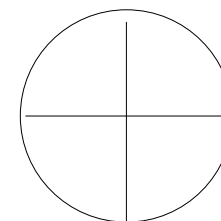
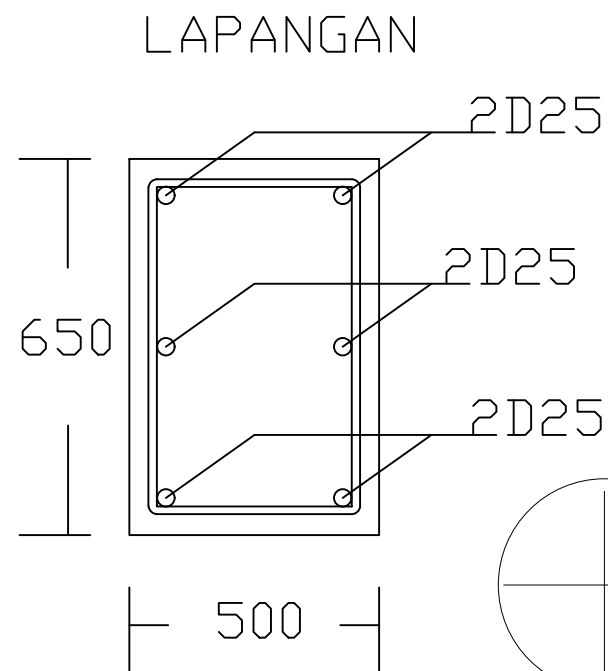
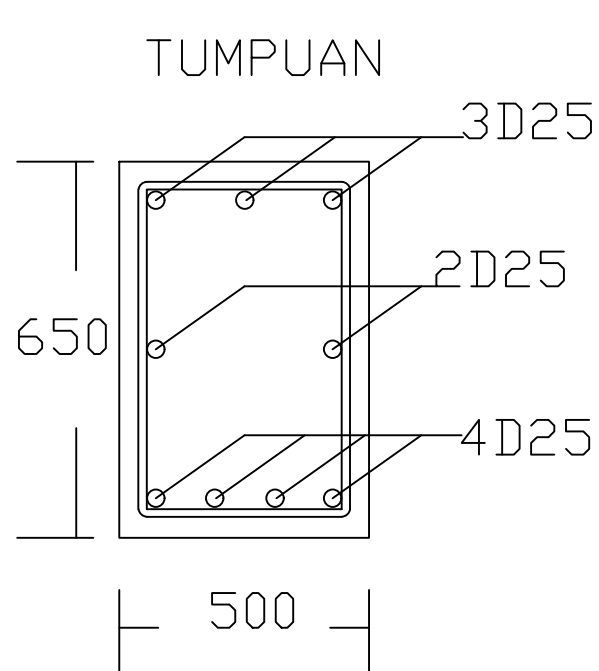
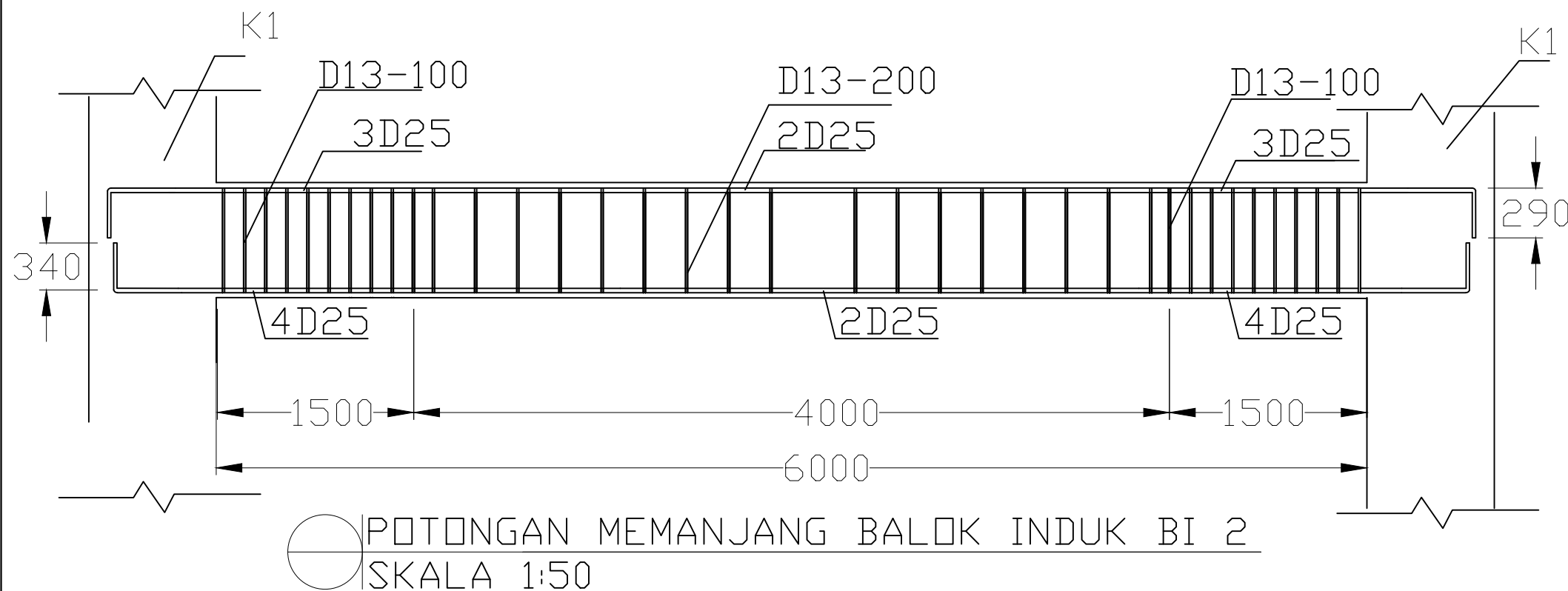
BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

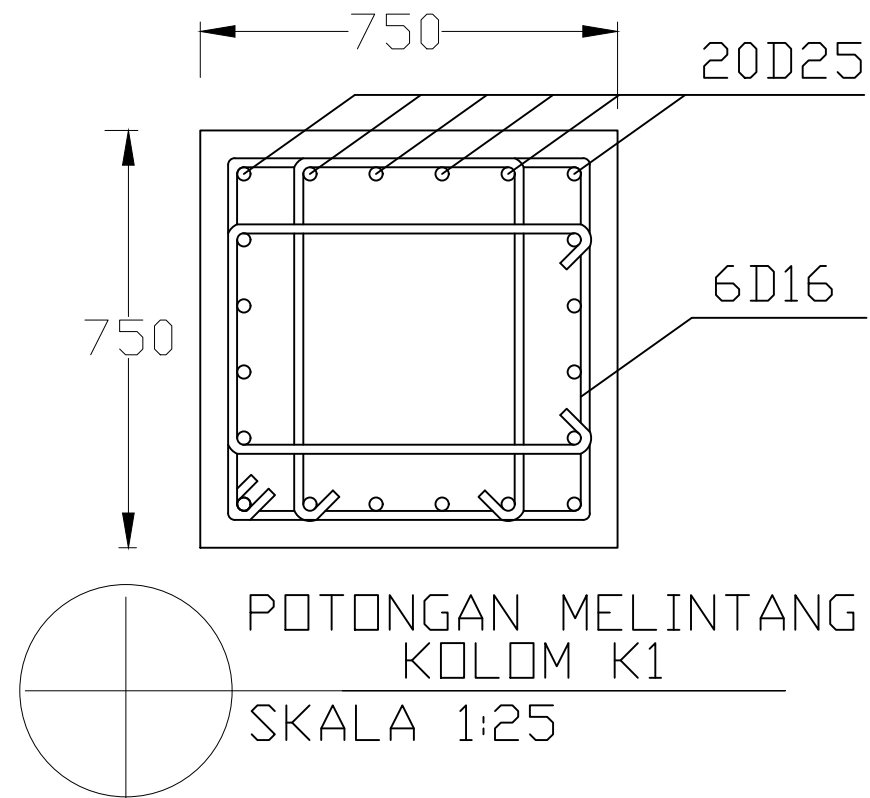
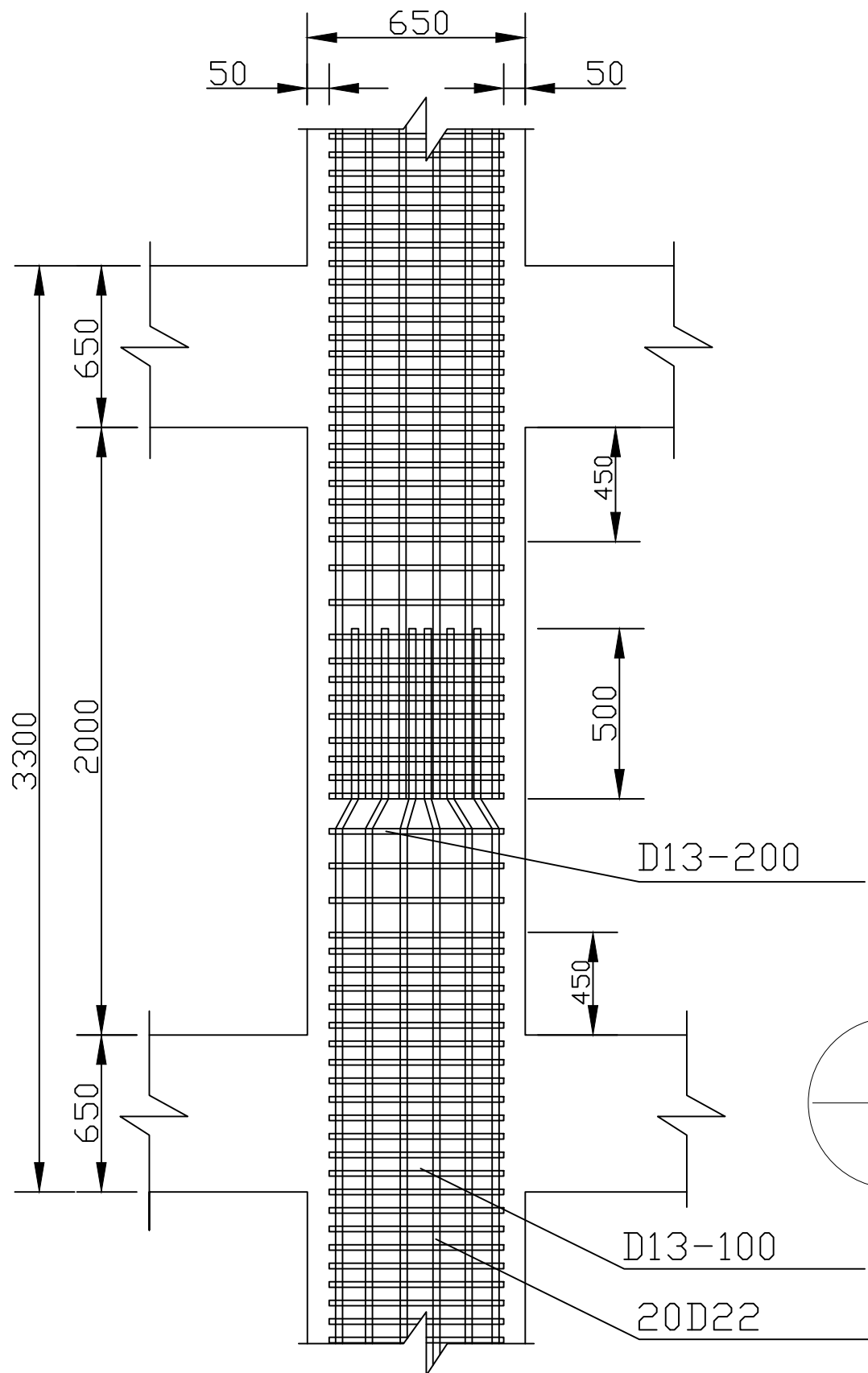
19

JUMLAH HALAMAN

22



POTONGAN MELINTANG  
BALOK INDUK BI 2  
SKALA 1:25



STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

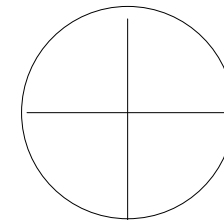
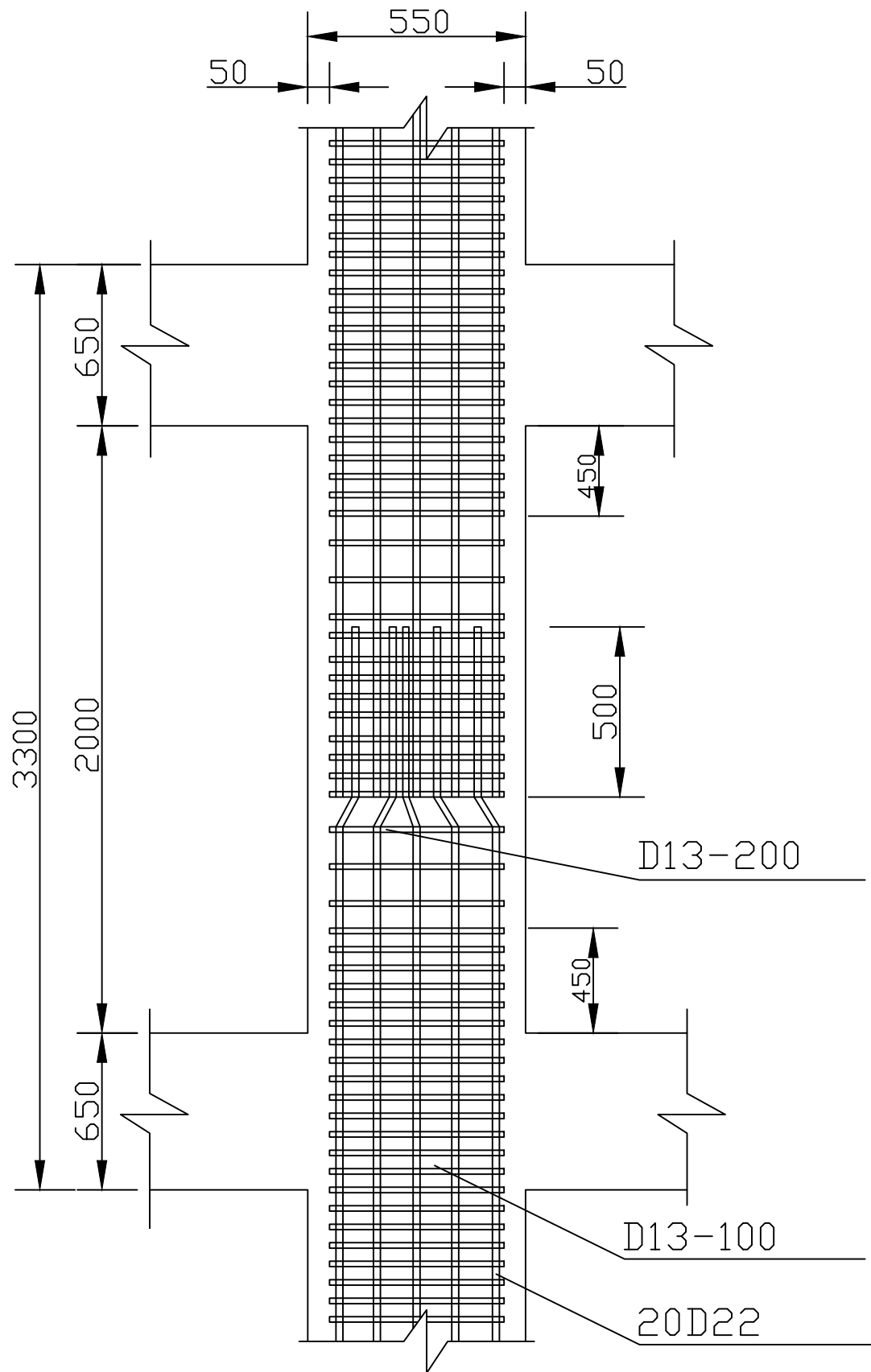
NOMOR HALAMAN

20

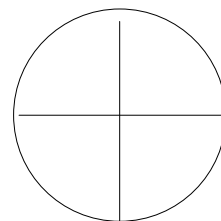
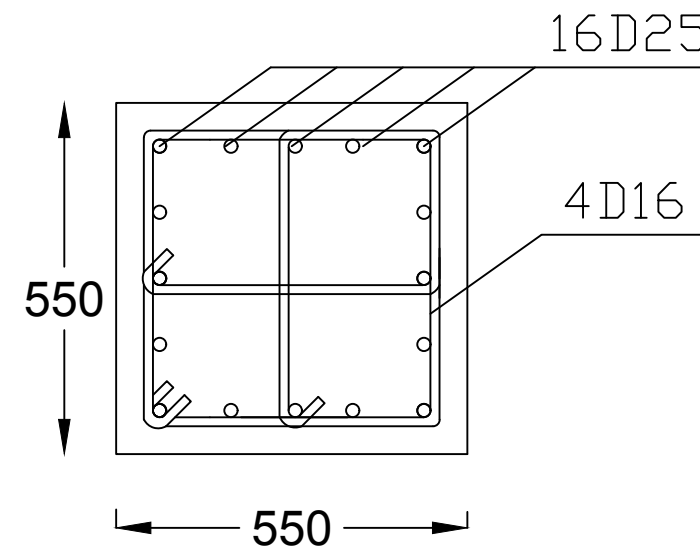
JUMLAH HALAMAN

22





POTONGAN MELINTANG  
KOLOM K2  
SKALA 1:25



POTONGAN MEMANJANG  
KOLOM K1  
SKALA 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN  
KEBUMIHAN

STRUKTUR  
BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.  
03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ  
03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,  
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

21

JUMLAH HALAMAN

22

STRUKTUR

BANGUNAN BETON

NAMA MAHASISWA

I A PUTU EKA C. S.

03111740000023

HILDA IMAMA ROFIQ

03111740000060

DOSEN ASISTEN

BAMBANG PISCESA,

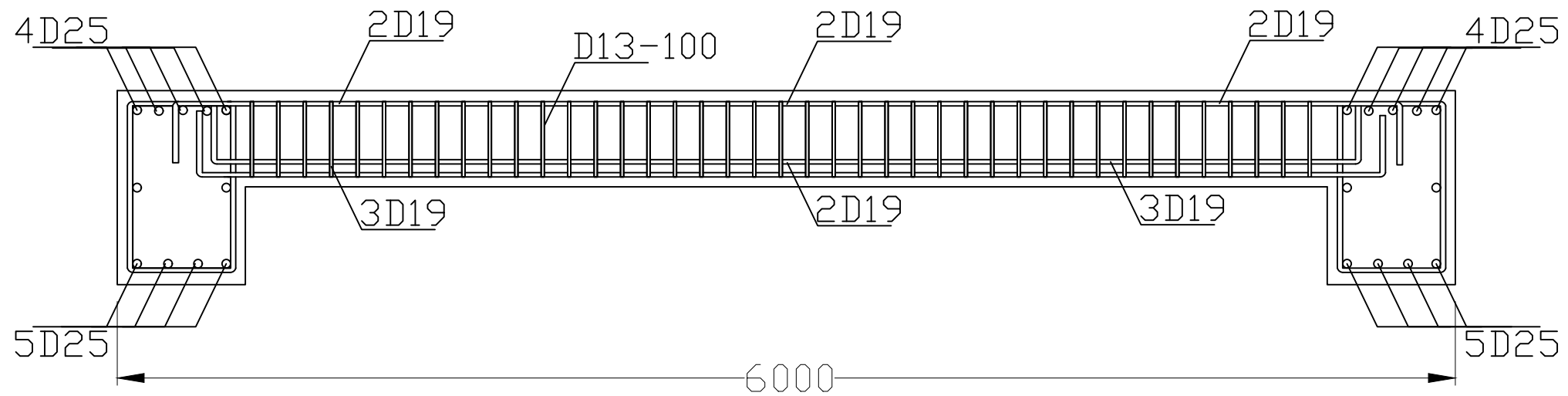
S.T., M.T.

NOMOR HALAMAN

22

JUMLAH HALAMAN

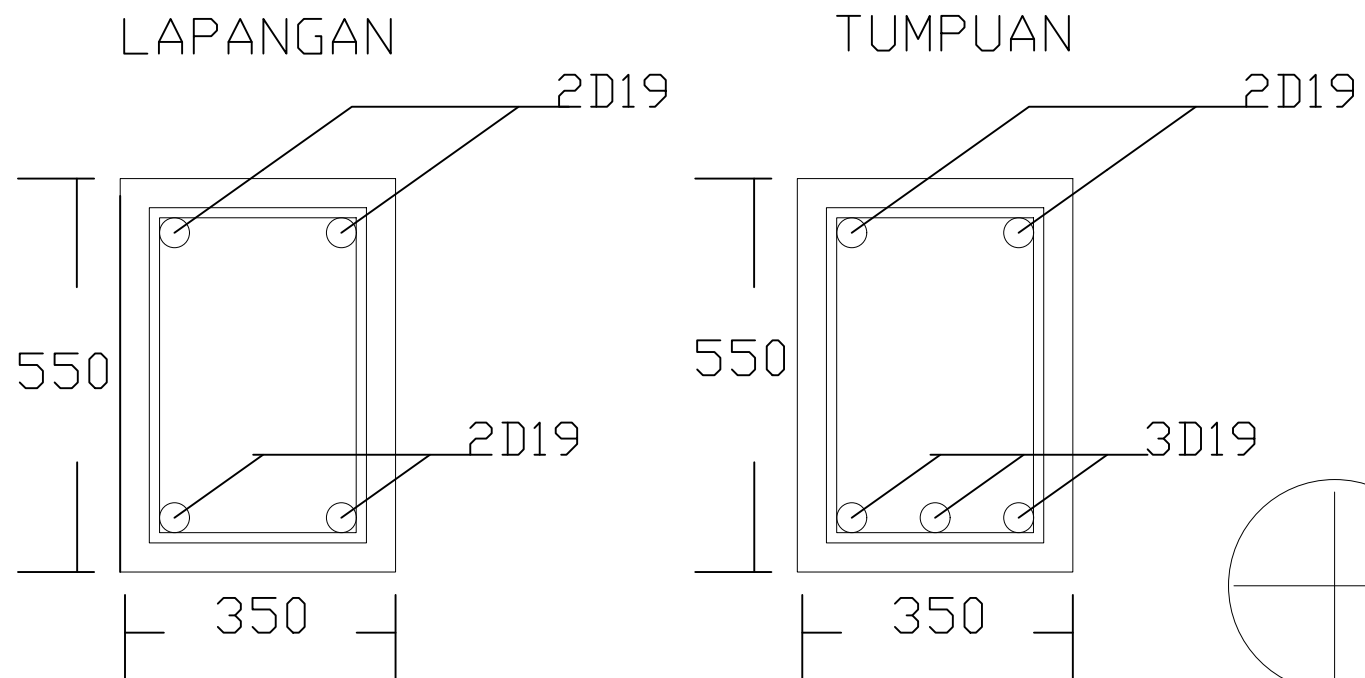
22





POTONGAN MEMANJANG BALOK ANAK

SKALA 1:50





POTONGAN MELINTANG BALOK ANAK

SKALA 1:25